Ciências ambientais

no ecótono amazônia-cerrado maranhense

Allison Bezerra Oliveira
Marcelo Francisco da Silva
José Fábio França Orlanda
Jorge Diniz de Oliveira
Aichely Rodrigues da Silva
(Organizadores)



Atena Editora
Ano 2023

Ciências ambientais

no ecótono amazônia-cerrado maranhense



Allison Bezerra Oliveira
Marcelo Francisco da Silva
José Fábio França Orlanda
Jorge Diniz de Oliveira
Aichely Rodrigues da Silva
(Organizadores)

Atena Editora
Ano 2023

Editora chefe
Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Editora executiva
Natalia Oliveira
Assistente editorial
Flávia Roberta Barão
Bibliotecária
Janaina Ramos
Projeto gráfico
Camila Alves de Cremo
Ellen Andressa Kubisty
Luiza Alves Batista
Nataly Evilin Gayde
Thamires Camili Gayde
Imagem da capa
Foto de Wilson Araújo da Silva
Edição de arte
Luiza Alves Batista

2023 *by Atena Editora*
Copyright © Atena Editora
Copyright do texto © 2023 Os autores
Copyright da edição © 2023 Atena Editora
Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.
Open access publication by Atena Editora

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

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

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial
Ciências Agrárias e Multidisciplinar
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria

MULTIDISCIPLINAR

Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Edevaldo de Castro Monteiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Renato Jaqueto Goes – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

MULTIDISCIPLINAR

Ciências ambientais no ecótono amazônia-cerrado maranhense

Diagramação: Ellen Andressa Kubisty
Correção: Yaiddy Paola Martinez
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadores: Allison Bezerra Oliveira
Marcelo Francisco da Silva
José Fábio França Orlanda
Jorge Diniz de Oliveira
Aichely Rodrigues da Silva

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C569 Ciências ambientais no ecótono amazônia-cerrado maranhense / Organizadores Allison Bezerra Oliveira, Marcelo Francisco da Silva, José Fábio França Orlanda, et al. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2023.

Outros organizadores
Jorge Diniz de Oliveira
Aichely Rodrigues da Silva

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-258-1845-0
DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.450232509

1. Ciências ambientais. I. Oliveira, Allison Bezerra (Organizador). II. Silva, Marcelo Francisco da (Organizador). III. Orlanda, José Fábio França (Organizador). IV. Título.
CDD 574.5

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

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

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access, desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce,* ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

O livro Ciências Ambientais no Ecótono Amazonia-Cerrado Maranhense, reúne a produção cientifica de um grupo de pesquisadores da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL),da Universidade Federal Rural da Amazônia, da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - Campos dos Goytacazes, da Universidade Federal do Maranhão, Universidade Ceuma, da Universidade Federal do Piauí, do Museu Paraense Emílio Goeldi, da Universidade Estadual do Maranhão, da Universidade do Vale do Itajaí, da Universidade Estadual do Tocantins, da Universidade Federal de Pernambuco e daUniversidade Estácio de Sá. O livro é constituído por 19 (dezenove) textos.

O primeiro texto, *Infecções Multiparasitárias em Triportheus Trifurcatus Castelnau, 1855 (Characiformes: Triportheidae) na Região Amazônica Brasileira*, faz a análise da biota parasitária encontrada em espécimes de *Triportheus trifurcatus* da bacia do rio Tocantins, na Amazônia brasileira. O texto dois destaca a *Caracterização Anatômica Radicular de Genótipos de* Z*ea mays* L. que teve como objetivo realizar a caracterização anatômica radicular de variedades de milho, fornecendo subsídios para a escolha das cultivares de milho mais adaptadas à região. O experimento foi conduzido na cidade de Imperatriz, nas estações do Centro de Difusão Tecnológica, foram utilizadas quatro cultivares de milho, sendo elas: Anhembi, M 274, AG 1051 e BR 106. No terceiro texto, o livro enfoca a *Estrutura Anatômica de Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) *Barneby)*, que traz um experimento sobre uma espécie usada no reflorestamento de áreas degradadas e na indústria madeireira, como matéria prima para a criação de painéis de compensado empregados na construção civil.

O quarto texto, *Caracterização do "Estado de Arte" da Espécie Vegetal Gallesia integrifólia* (Spreng). Harms*,* os autores fizeram levantamento de pesquisas desta espécie visando comprovar sua relevância como planta medicinal, sendo frequente em várias comunidades tradicionais e com várias aplicações diferentes. As frações diferentes da planta apresentam diversas substâncias ativas, comprovando o seu potencial farmacológico. No texto cinco realizou o ensaio de *Inventário a comunidade de aranhas em solo no Parque Nacional da Chapada das Mesas, Carolina - Maranhão, Brasil*. O texto seis fez o *Diagnóstico Ambiental de Três Ecossistema Aquáticos Urbanos do Município de Imperatriz-MA utilizando Índice de Qualidade de Bascarán (IQA$_B$)*, cujo objetivo foi avaliar a qualidade da água do riacho Bacuri, riacho do Meio e riacho Santa Tereza de Imperatriz, com base na resolução CONAMA nº 357/2005.

O sétimo texto do livro analisa o avanço da *Silvicultura do eucalipto e as dinâmicas no uso e ocupação do solo no município de Açailândia, Maranhão, Brasil*, pontua o avanço da monocultura de eucalipto no município. Esta atividade

vem incorporando vastas áreas de terra, e paralelamente a esse processo, está a diminuição da vegetação nativa e a diminuição de áreas para produção de culturas tradicionais da região. O texto oitavo intitulado *Análise Espaço-Temporal do Uso e Cobertura da Terra em Sub-Bacias Hidrográficas do rio Tocantins, Maranhão* analisa a qualidade ambiental na escala espaço-temporal (1990 a 2020) das mudanças do uso da terra nas sub-bacias hidrográficas do Bacuri, Cacau e Capivara no perímetro urbano de Imperatriz-MA, aplicando a geotecnologia livres e a métrica de análise da paisagem pelo *Landscape Ecology Statistics* (LecoS). O nono texto traz as *Transformações no Uso e Cobertura da Terra no Município de Açailândia-MA* que visa compreender as transformações da paisagem e do uso e cobertura da terra no período de 1985 a 2021, utilizando a geotecnologia livre para o desenvolvimento da pesquisa.

O décimo texto do livro traz os *Serviços Médico-Hospitalares e Dinâmica da Covid-19 na Região Tocantina do Maranhão*, a discussão se fez a partir da oferta de serviços médico-hospitalares essenciais no diagnóstico/tratamento para a doença. O decimo primeiro texto trata dos *Custos hospitalares do tratamento da Covid-19 estimados por macrocusteio, o texto faz estimativa dos custos médicos diretos associados ao tratamento hospitalar da Covid-19*, na perspectiva do SUS no estado do Maranhão. Já o décimo segundo texto trata do *Potencial econômico e medicinal das espécies de Parmeliaceae encontradas no Centro-Sul do Maranhão e Extremo Norte do Tocantins*. Os ensaios de detecção por cromatografia em camada delgada e reações químicas específicas a este grupo artificial, como teste de coloração do talo, uso de luz ultravioleta e microcristalização sinaliza que as substâncias fenólicas encontradas no líquen da Região Tocantina (Centro-Sul do Estado do Maranhão e Norte do Estado do Tocantins, Brasil) podem ser utilizadas para fins econômicos e medicinais.

O décimo terceiro texto do livro, faz uma Avaliação fisiológica de ipê-roxo (Tabebuia impetiginosus (Mart.ex DC.) Standl), nativa do Cerrado maranhense como potencial fitorremediador de solos contaminados. Esta espécie apresentou potencial para ser utilizada como ferramenta na fitorremediação de solos com concentração de manganês, chumbo e zinco. Já o décimo quarto texto trata da *Promoção do Crescimento de Clones de Eucalipto Inoculados com Isolados de Trichoderma* spp*. do Ecótono Amazônia-Cerrado*. O trabalho sinaliza que as mudas de eucalipto com tratamento T3 em inoculação de *Trichoderma* spp. apresentou os melhores padrões de qualidade dentro dos parâmetros avaliados e o T6 apresentou o melhor índice de robustez. O décimo quinto texto trata do *Efeito Fungicida do Óleo Essencial de Capim Santo (Cymbopogon citratus) Coletado na Região Tocantina do Maranhão contra Fusarium oxysporum Isolado do Feijão*. O texto traz resultado da avaliação *in vitro* no controle de *F. oxysporum*

extraído do feijão utilizando o óleo essencial de *Cymbopogon citratus*. Houve a inibição do fungo *F. oxysporum* utilizando óleo essencial de *C. citratus*, onde todas as concentrações de óleo de capim santo inibiram o crescimento micelial, e alcançaram 100 % de inibição. O décimo sexto artigo do livro traz o *Teor de Fósforo na Cultura da Soja em Função da Associação dos Fungos Micorrízicos e Adubação Fosfatada*. O texto avalia o teor de fósforo na cultura da soja, tendo em vista a inoculação de fungos micorrízicos associada à adubação fosfatada, sendo evidenciado que não houve substancial aumento do fósforo nas plantas examinadas e concluiu-se que isso ocorreu devido ao fato de o solo já se encontrar em boas condições, sendo capaz de suprir as necessidades dessas plantas.

Já o décimo sétimo texto faz referência aos *Efeitos das Atividades Agrícolas na Atividade Microbiana em Solos Rizosféricos do Cerrado Meridional Maranhense*. Esse texto traz a avaliação dos efeitos das atividades agrícolas na atividade e densidade microbiana em solos coletados nos municípios de Senador Edson Lobão e Balsas (MA), implicando em um importante passo para o entendimento da dinâmica de regulação microbiana de carbono pelos sistemas agrícolas. O penúltimo texto do livro trata da *Contaminação por Metais Pesados: Efeitos na Planta e Fitorremediação*. Relata que apesar de ser caracterizado como um micronutriente importante para as plantas, o ferro (Fe) em concentrações muito altas pode resultar na contaminação e toxidez das plantas, nestes casos, em que as concentrações de Fe e demais metais pesados no solo geram danos ao ambiente. O último texto do livro intitulado *Mapeamento Ambiental com Drones de Baixo Custo*, traz a discussão dos benefícios da utilização de drone de baixo custo, aplicado nas atividades ambientais e agrícolas.

Luiz Carlos Araújo dos Santos
Departamento de Geografia da UEMA
Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço - PPGeo

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 1

INFECÇÕES MULTIPARASITÁRIAS EM *TRIPORTHEUS TRIFURCATUS* CASTELNAU, 1855 (CHARACIFORMES: TRIPORTHEIDAE) NA REGIÃO AMAZÔNICA BRASILEIRA

Marcelo Francisco da Silva
Murilo Barros Alves
Edilson Rodrigues Matos

https://doi.org/10.22533/at.ed.4502325091

CAPÍTULO 2 10

CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA RADICULAR DE GENÓTIPOS DE *ZEA MAYS* L.

Daniel Lopes Costa
Jociel Nascimento de Noronha
David Januário de Sousa
Ivaneide de Oliveira Nascimento
Niara Moura Porto

https://doi.org/10.22533/at.ed.4502325092

CAPÍTULO 3 22

ESTRUTURA ANATÔMICA DE *SCHIZOLOBIUM PARAHYBA VAR. AMAZONICUM* (HUBER EX DUCKE) BARNEBY)

Diana Neres dos Santos
Jociel Nascimento de Noronha
Sandriel Lima Nascimento
Maria Gabriela Sales da Silva
Vinicius de Sousa Lima
Thatyane Pereira de Sousa
João Miguel Santos Dias
Niara Moura Porto

https://doi.org/10.22533/at.ed.4502325093

CAPÍTULO 4 34

CARACTERIZAÇÃO DO “ESTADO DE ARTE” DA ESPÉCIE VEGETAL *GALLESIA INTEGRIFOLIA* (SPRENG). HARMS

Derek Klinger Buás Pinto
Bruno Luiz de Paula Pereira
Déborah Belo Paz Pinheiro
João Guilherme Nantes Araújo
Ludmylla Fernanda Almeida Pereira
Sheila Elke Araújo Nunes
José Fábio França Orlanda
Wellyson da Cunha Araújo Firmo

https://doi.org/10.22533/at.ed.4502325094

SUMÁRIO

CAPÍTULO 5 47

DIVERSIDADE DE ARANHAS DE SOLO NO PARQUE NACIONAL DA CHAPADA DAS MESAS, CAROLINA - MARANHÃO, BRASIL

Jair Willyans Sousa Guajajara Oliveira
Luana Silva Carvalho
Yasmin Rita Alves Aguiar de Paula
Cláudio de Jesus Silva Júnior
Marcelo Francisco da Silva
Regiane Saturnino

https://doi.org/10.22533/at.ed.4502325095

CAPÍTULO 6 59

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DE TRÊS ECOSSISTEMA AQUÁTICOS URBANOS DO MUNICÍPIO DE IMPERATRIZ-MA UTILIZANDO ÍNDICE DE QUALIDADE DE BASCARÁN (IQA_B)

Jorge Diniz de Oliveira
Marcelo Francisco da Silva
Ivaneide de Oliveira Nascimento
Aichely Rodrigues da Silva
Rafael de Oliveira Araújo
Claudia Karen Silva Lopes

https://doi.org/10.22533/at.ed.4502325096

CAPÍTULO 7 73

USO E OCUPAÇÃO DO SOLO PELA SILVICULTURA DO EUCALIPTO NA AMAZÔNIA MARANHENSE: AVANÇOS SOBRE O MUNICÍPIO DE AÇAILÂNDIA, MARANHÃO, BRASIL

Allison Bezerra Oliveira
José Sérgio de Jesus Salles
Diego Armando de Sousa Paz
Paulo Ricardo Schwingel
Rafael de Oliveira Araújo
Weverton Pereira Rodrigues
José Geraldo Pimentel Neto

https://doi.org/10.22533/at.ed.4502325097

CAPÍTULO 8 87

ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO USO E COBERTURA DA TERRA EM SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS DO RIO TOCANTINS, MARANHÃO

Maria Eduarda Pinheiro Bertolino
Alana Franco Zanini
Ana Carolina de Araújo Mourão
Marcelo Francisco da Silva
Allison Bezerra Oliveira
Wilson Araújo da Silva
Aichely Rodrigues da Silva

https://doi.org/10.22533/at.ed.4502325098

CAPÍTULO 9 97

TRANSFORMAÇÕES NO USO E COBERTURA DA TERRA NO MUNICÍPIO DE AÇAILÂNDIA – MA

Taíssa Caroline Silva Rodrigues
Helen Giovanna Pereira Fernandes
Eduarda Vaz Braga
Ivanilde Lima Silva
Isolda Cordeiro Carvalho
Nivea Sousa Fonseca
Jorge Diniz de Oliveira

https://doi.org/10.22533/at.ed.4502325099

CAPÍTULO 10.....110

SERVIÇOS MÉDICO-HOSPITALARES E DINÂMICA DA COVID-19 NA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO

Allison Bezerra Oliveira
Luciléa Ferreira Lopes Gonçalves
Sheila Elke Araújo Nunes
Rafael de Oliveira Araújo
Karolayne Carneiro dos Santos
Iane Paula Rêgo Cunha Dias
Aichely Rodrigues da Silva

https://doi.org/10.22533/at.ed.45023250910

CAPÍTULO 11 123

CUSTOS HOSPITALARES DO TRATAMENTO DA COVID-19 NO ESTADO DO MARANHÃO ESTIMADOS POR MACROCUSTEIO

Antonio Emanuel Passos de Sousa Oliveira
Sheila Elke Araújo Nunes
João Amadeu Lima Pinto
Ivaneide de Oliveira Nascimento
Allison Bezerra Oliveira
Marcia Guelma Santos Belfort
Wellyson da Cunha Araújo Firmo

https://doi.org/10.22533/at.ed.45023250911

CAPÍTULO 12..... 138

POTENCIAL ECONÔMICO E MEDICINAL DAS ESPÉCIES DE *PARMELIACEAE* ENCONTRADAS NO CENTRO-SUL DO MARANHÃO E EXTREMO NORTE DO TOCANTINS

Iane Paula Rêgo Cunha Dias
Maria de Lourdes Lacerda Buril
Allison Bezerra de Oliveira
Eugênia Cristina Pereira

https://doi.org/10.22533/at.ed.45023250912

SUMÁRIO

CAPÍTULO 13..... 149

AVALIAÇÃO FISIOLÓGICA DE IPÊ-ROXO (*HANDROANTHUS IMPETIGINOSUS* (MART. EX DC.) MATTOS)), NATIVA DO CERRADO MARANHENSE COMO POTENCIAL FITORREMEDIADOR DE SOLOS CONTAMINADOS

Talita Nicole da Silva Lima
Adâmis Nascimento dos Santos
Ivaneide de Oliveira Nascimento
Jeovania Oliveira Lima
Gabriel Guzzard Santos da Cruz
Jorge Diniz de Oliveira
Thatyane Pereira de Sousa
Niara Moura Porto

https://doi.org/10.22533/at.ed.45023250913

CAPÍTULO 14..... 160

PROMOÇÃO DO CRESCIMENTO DE CLONES DE EUCALIPTO INOCULADOS COM ISOLADOS DE *TRICHODERMA* SPP. DO ECÓTONO AMAZÔNIA-CERRADO

Paula de Kássia Sobreira Silva
Antonio Igor Rios de Sousa
Ivaneide de Oliveira Nascimento
Thatyane Pereira de Sousa
Niara Moura Porto

https://doi.org/10.22533/at.ed.45023250914

CAPÍTULO 15..... 170

EFEITO FUNGICIDA DO ÓLEO ESSENCIAL DE CAPIM SANTO (*CYMBOPOGON CITRATUS*) COLETADO NA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO CONTRA *FUSARIUM OXYSPORUM* ISOLADO DO FEIJÃO

Thalia Silva Oliveira
Gabriel Sousa Brito
Cláudia Marinho Morais
Marcos Vinicius Morais Silva
Ivaneide de Oliveira Nascimento
Francisco Eduardo Aragão Catunda Júnior

https://doi.org/10.22533/at.ed.45023250915

CAPÍTULO 16..... 183

TEOR DE FÓSFORO NA CULTURA DA SOJA EM FUNÇÃO DA ASSOCIAÇÃO DOS FUNGOS MICORRÍZICOS E ADUBAÇÃO FOSFATADA

Mario Soares da Silva Junior
Ivaneide de Oliveira Nascimento
Júlio Oliveira Anastácio
Gabriel Souza Santos
Júlia Silva Nepomuceno
Thiago Palhares Farias
Jorge Diniz de Oliveira
Sheila Elke Araújo Nunes

https://doi.org/10.22533/at.ed.45023250916

CAPÍTULO 17..... 190

EFEITOS DAS ATIVIDADES AGRÍCOLAS NA ATIVIDADE MICROBIANA EM SOLOS RIZOSFÉRICOS DO CERRADO MERIDIONAL MARANHENSE

Antônio Eleilson da Silva Torres
José Fábio França Orlanda
Marcelo Francisco da Silva
Wellyson da Cunha Araújo Firmo

https://doi.org/10.22533/at.ed.45023250917

CAPÍTULO 18.....200

CONTAMINAÇÃO POR METAIS PESADOS: EFEITOS NA PLANTA E FITORREMEIDAÇÃO

Geórgia Peixoto Bechara Mothé
Guilherme Augusto Rodrigues de Souza
Weverton Pereira Rodrigues
Eliemar Campostrini
Allison Bezerra Oliveira

https://doi.org/10.22533/at.ed.45023250918

CAPÍTULO 19..... 212

MAPEAMENTO AMBIENTAL COM DRONES DE BAIXO CUSTO

Wilson Araújo da Silva
Elder Milhomem Mota Filho
Cristiane Matos da Silva
Aichely Rodrigues da Silva

https://doi.org/10.22533/at.ed.45023250919

SOBRE OS ORGANIZADORES 223

CAPÍTULO 1

INFECÇÕES MULTIPARASITÁRIAS EM *TRIPORTHEUS TRIFURCATUS* CASTELNAU, 1855 (CHARACIFORMES: TRIPORTHEIDAE) NA REGIÃO AMAZÔNICA BRASILEIRA

Data de aceite: 01/09/2023

Marcelo Francisco da Silva
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
Imperatriz – Maranhão
https://orcid.org/0000-0002-9148-6725

Murilo Barros Alves
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
Imperatriz – Maranhão
https://orcid.org/0000-0002-6999-8345

Edilson Rodrigues Matos
Universidade Federal Rural da Amazônia
Belém – Pará
https://orcid.org/0000-0002-9918-1408

RESUMO: As relações parasito-hospedeiro em ambientes aquáticos são processos complexos estabelecidos ao longo da história evolutiva dos respectivos organismos. A enorme diversidade de peixes e organismos parasitários encontrados em regiões tropicais suporta a frequente ocorrência de coparasitismo em ambientes tropicais, embora poucos dados estejam disponíveis sobre a ocorrência de multiparasitismo em peixes da região amazônica. No presente estudo, a análise da biota parasitária encontrada em espécimes de *Triportheus trifurcatus* da bacia do rio Tocantins, na Amazônia brasileira, revelou uma prevalência de 73,3% de indivíduos infectados por algum tipo de parasita. Um único tipo de parasita foi encontrado em 35,0% dos espécimes, embora biparasitismo tenha sido registrado em 20,0% e multiparasitismo em 18,3% dos espécimes analisados. A maioria (60%) dos parasitos registrados nesses hospedeiros eram representantes do filo Myxozoa, seguidos por monogenóides (família Dactylogyridae) do filo Platyhelminthes (23%). O coparasitismo mais comum (16,6% dos casos) envolveu mixozoários do gênero *Henneguya* e monogenóides. O sítio de infecção mais frequente (56,3%) foram as brânquias, e o principal tipo de parasito foi *Henneguya* spp. (46,7%), seguido por monogenóides dactylogyrídeos (30,0%), ovos de cestódeos (3,3%), *Myxobolus* sp. (3,3%), *Ichthyophthirius multifilis* (1,7%) e copépodos ergasilídeos (1,7%).

PALAVRAS-CHAVE: Rio Tocantins, coparasitismo, prevalência parasitária, região amazônica.

MULTI-PARASITIC INFECTIONS IN *TRIPORTHEUS TRIFURCATUS* CASTELNAU , 1855 (CHARACIFORMES: TRIPORTHEIDAE) FROM THE BRAZILIAN AMAZON

ABSTRACT: Host-parasite relationships in aquatic environments are complex processes established over the course of the evolutionary history of the respective organisms. The enormous diversity of both fish and parasitic organisms found in tropical regions supports the frequent occurrence of co-parasitism in tropical environments, although few data are available on the occurrence of multi-parasitism in fish from Amazon region. In the present study, the analysis of the parasite biota found in specimens of *Triportheus trifurcatus* from the basin of the Tocantins River, in the Brazilian Amazon region, revealed a prevalence of 73.3% of individuals infected with some form of parasite. A single type of parasite was found in 35.0% of the specimens, although bi-parasitism was recorded in 20.0%, and multi-parasitism in 18.3% of the specimens analysed. The majority (60%) of parasites recorded in these hosts were representatives of the phylum Myxozoa, followed by monogenoids (family Dactylogyridae) of phylum Platyhelminthes (23%). The most common co-parasitism (16.6% of the cases) involved myxozoans of genus *Henneguya* and monogenoids. The most frequent infection site (56.3%) was the gills, and the principal type of parasite was *Henneguya* spp. (46.7%), followed by dactylogyrid monogenoids (30.0%), cestode eggs (3.3%), *Myxobolus* sp. (3.3%), *Ichthyophthirius multifilis* (1.7%), and ergasilid copepods (1.7%).
KEYWORDS: Tocantins River, co-parasitism, parasitic prevalence, Amazon region.

1 | INTRODUÇÃO

Triportheu é um gênero de peixe da ordem Characiformes, família Triportheidae. Esses peixes forrageiros estão amplamente distribuídos na América do Sul e, nas últimas décadas, tornaram-se cada vez mais alvo da pesca comercial (Diniz *et al.,* 2009, Preste *et al*., 2010, Moreira *et al*., 2017). *Triportheus trifurcatus* Castelnau, 1855 é um onívoro pelágico, que forrageia na superfície e margens de rios e lagos tropicais (Santos *et al*., 2004; Agarwl; Kritsky 2009).

Esta espécie é um importante componente da biota aquática da região amazônica, devido não só ao seu papel na teia trófica como peixe forrageiro, mas também como importante fonte de proteína animal para consumo humano (Doria; Queiroz 2008, Araújo, 2012). A delimitação das relações entre esse importante recurso pesqueiro e seus parasitas será importante para o entendimento da dinâmica e dos processos naturais que determinam a saúde de seus estoques na região amazônica. Os peixes do gênero *Triportheus* são popularmente conhecidos como sardinhas e, por sua ampla distribuição e adaptabilidade a vários biótopos, estão entre os peixes mais comercializados nos mercados da região amazônica (Soares; Junk, 2000).

Vários trabalhos sobre esse gênero de peixe em rios amazônicos abordam questões sobre hábitos alimentares (Goulding *et al*., 1988); dieta e morfologia (Almeida, 1984); descrições taxonômicas (Gery, 1977) e estudos sobre aspectos reprodutivos (Braga, 1990).

Contudo, poucos são os estudos sobre a relação desta espécie com parasitos no ambiente natural.

2 | METODOLOGIA

Exemplares de *Triportheus trifurcatus* Castelnau, 1855 (Characiformes: Triportheidae) foram coletados bimestralmente entre dezembro de 2017 e agosto de 2019 no cais de desembarque do município de Imperatriz, margem direita (leste) do médio Tocantins (Fig. 1). Os espécimes foram coletados com linha de mão e rede de emalhar, e todos os procedimentos seguiram as condições impostas pela licença de coleta MMA SISBIO número 44396-2. Os animais foram acondicionados em sacos plásticos com água do rio, os quais foram lacrados com injeção de oxigênio para transporte até o Laboratório de Ecologia e Limnologia do campus Imperatriz da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (LEL/UEMASUL), onde foram mantidos em aquários com aeração artificial antes do processamento. Todos os procedimentos laboratoriais seguiram os protocolos aprovados pelo Comitê de Ética para Uso Experimental de Animais da Universidade Federal Rural da Amazônia (CEUA/UFRA número 013/2014).

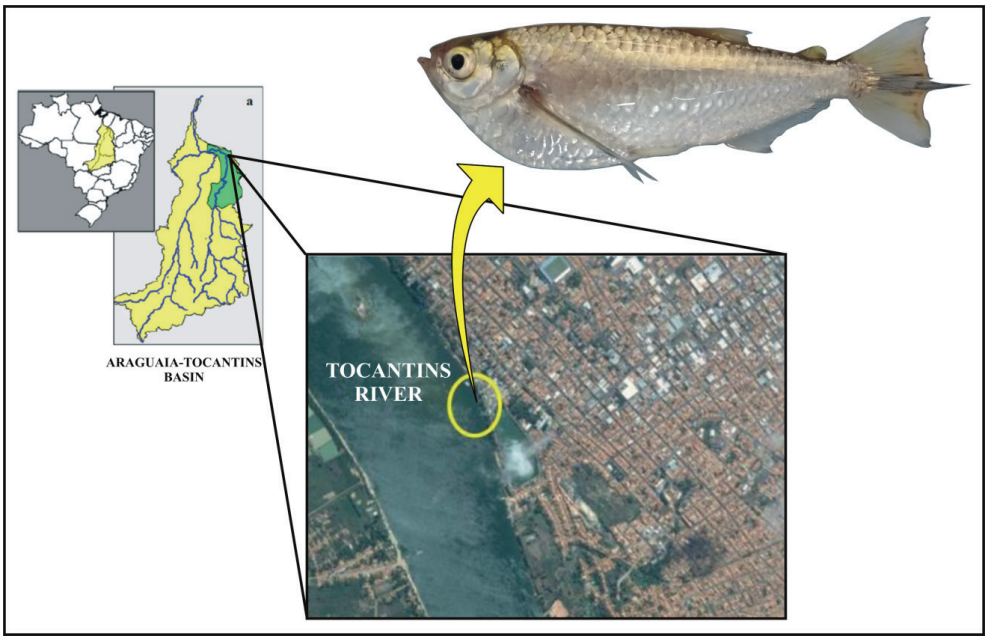


Figura 1. Localização da região de coleta dos exemplares de peixes analisados.

Fonte: Autores (2023)

Os peixes foram anestesiados no aquário e eutanasiados por mielotomia neural.

Cada espécime foi medido (comprimento total e comprimento padrão, em cm), pesado (g) e sexado. A superfície externa e os órgãos internos de cada espécime foram examinados em estereomicroscópio, sendo utilizado um microscópio de luz para um exame mais detalhado das características morfológicas dos parasitas observados, que foram identificados até o menor nível taxonômico possível usando chaves taxonômicas publicadas.

A correlação potencial entre as características morfométricas dos espécimes de *T. trifurcatus* examinados no presente estudo e a ocorrência de multiparasitismo foi examinada usando uma Análise de Variância Permutacional bifatorial multivariada (PERMANOVA), executada no PAST 3.0 (Hammer 2001). As inter-relações entre os parasitas e os diferentes locais de infecção foram avaliadas usando uma análise de mapeamento de rede, executada em Gephi v. 0.9.1 (Bastian *et al*., 2009; Cherven 2015).

3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

Um total de 70 espécimes de *T. trifurcatus* foram coletados e analisados no presente estudo, incluindo 37 fêmeas e 33 machos. O comprimento total médio dos espécimes foi de 15,2±0,3 cm (intervalo: 12–18 cm), enquanto o comprimento padrão médio foi de 13,1±0,2 cm (intervalo: 11,0–15,5 cm) e o peso médio foi de 42,4±2,3 g (intervalo: 26–79 g).

A PERMANOVA encontrou relações significativas ($p<0,05$) entre o multiparasitismo e o comprimento padrão do peixe hospedeiro, com o número de parasitas ocorrendo simultaneamente em um hospedeiro aumentando com o tamanho do peixe, e na interação entre o sexo do hospedeiro e seu comprimento padrão, com fêmeas de tamanho maior sendo mais propensas a apresentar multiparasitismo (Tab. 1).

Fonte de variação	gl	F	*p*
Sexo	1	0,171	0,347
Comprimento Total	10	0,084	0,903
Comprimento Padrão	9	0,524	**0,044**
Peso	5	0,302	0,443
Interações			
Sexo *versus* Comprimento Total	10	-0,208	0,877
Sexo *versus* Comprimento Padrão	9	-0,164	**0,051**
Sexo *versus* Peso	5	-1,588	0,317
Comprimento Total *versus* Comprimento Padrão	6	-1,913	0,881
Comprimento Total *versus* Peso	15	-0,119	0,804
Comprimento Padrão *versus* Peso	10	-0,712	0,703

Tabela 1. Resultados da PERMANOVA (10.000 permutações) da ocorrência de multiparasitismo nos espécimes de *Triportheus trifurcatus* segundo sexo, comprimento total, comprimento padrão e peso. gl = graus de liberdade.

Fonte: Autores (2023).

A prevalência geral de peixes parasitados foi de 73,3%. O principal grupo de parasitas foi o filo Myxozoa, com 60% dos casos de parasitismo registrados neste estudo. A maioria (41%) desses casos envolveu *Henneguya* spp., seguido por espécimes de *Myxobolus* sp. (9%), *Ceratomyxa* sp. (4%), *Myxidium imperatrizensis* (3%) e *Unicauda tavaresi*, com 3% (Fig. 2).

Platelmintos monogenóides da família Dactylogyridae foram registrados em 23% dos peixes parasitados, enquanto cestóides foram registrados em 5% e nematóides do gênero *Procamallanus* (Spirocamallanus), em 4%. Apicomplexas do gênero *Calyptospora* foram observadas parasitando 4% dos espécimes analisados. Os outros grupos dos filos Acantocephala e Microsporidia, o protozoário *Ichthyophthirius multifiliis* e os copépodos da família Ergasilidae, contribuíram com aproximadamente 1% das infecções.

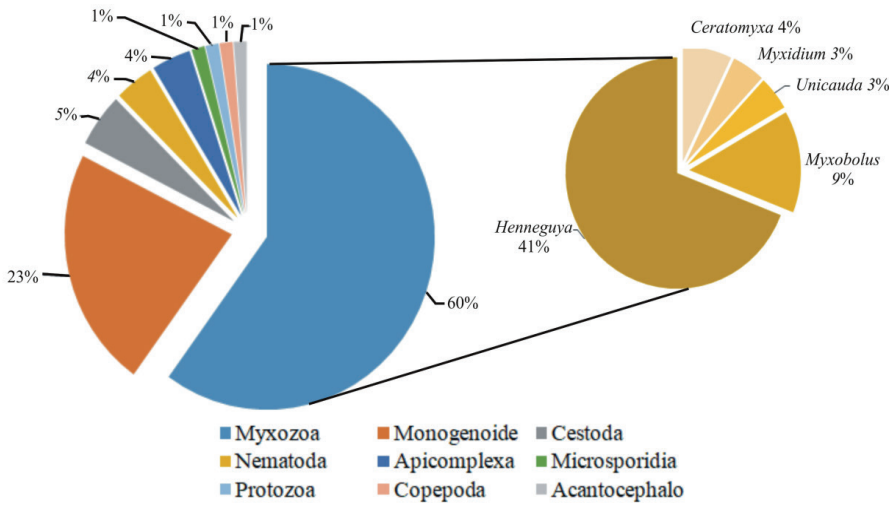


Figura 2. Distribuição da ocorrência dos diferentes tipos de parasitas nos espécimes infectados de *Triportheus trifurcatus* obtidos da bacia do médio Tocantins na região amazônica do norte do Brasil.

Fonte: Autores (2023)

O principal sítio de infecção foram as brânquias, com prevalência de 56,3%, seguido da vesícula biliar (10,4%), intestino (4,2%) e coração (4,2%), fígado (3,1%) e olhos (2,1%). Nadadeiras, tegumento e ligamentos mesentéricos tiveram uma prevalência de 1%. Seis diferentes taxas parasitárias foram observadas nos filamentos branquiais de *T. trifurcatus,* sendo as maiores prevalências registradas para os mixozoários do gênero *Henneguya* (46,7%) e os monogenóides platelmintos da família Dactylogyridae (30,0%). Ovos de Cestoda e cistos de *Myxobolus* sp. foram registrados nas brânquias com prevalência de 3,3%, enquanto protozoários (*I. multifilis*) e copépodes ergasilídeos ocorreram em 1,7% dos espécimes analisados (Tab. 2).

Taxa de Parasitos	Sítios de Infecção								
	Brânquias	Vesícula Biliar	Intestino	Coração	Fígado	Olhos	Rins	Tegumento	Mesentgério
Apicomplexa									
Calyptospora gonzagensis		1.7%			3.3%				1.7%
Ciliophora									
Ichthyophthirius multifiliis	1.7%								
Micosporidia									
Microsporidia gen. sp.					1.7%				
Myxozoa									
Ceratomyxa sp		5.0%							
Henneguya spp.	46.7%						1.7%		
Myxidium imperatrizensis		3.3%							
Myxobolus sp.	3.3%			6.7%					
Unicauda tavaresii						3.3%			
Platyhelmintes									
Monogenoide (Dactylogyridae)	30%								
Cestoda Eggs	3.3%							1.7%	
Nematoda									
Procamallanus (*Spirocamallanus*)			5.0%						
Acanthocephala									
Acanthocephala gen. sp.			1.7%						
Arthropoda									
Copepodas (Ergasilidae)	1.7%								

Tabela 2. Prevalência por sítio de infecção dos diferentes tipos de parasitas observados nos espécimes de *Triportheus trifurcatus* (N = 70) obtidos no médio rio Tocantins, segundo o local de infecção.

Fonte: Autores (2023).

A vesícula biliar foi infectada por três tipos diferentes de microparasita, *Ceratomyxa* sp. (5,0%), *M. imperarizensis* (3,3%) e *Calyptospora gonzaguensis* (1,7%), sendo o órgão com a segunda fauna parasitária mais diversa, seguido do fígado, com oocistos de *C. gonzaguensis* (3,3%) e xenomas de microsporídeos (1,7%), e do intestino, também com dois tipos de parasitas, nematódeos do gênero *Procamallanus* (Spirocamallanus) (5,0%) e acantocéfalos (1,7%).

A presença de apenas um tipo de parasito foi registrada em 35% dos espécimes analisados, com predominância (18,3%) dos cistos de *Henneguya* sp. nos filamentos

branquiais. A coocorrência de dois táxons parasitários foi registrada em 20% dos casos, com predomínio da interação entre mixozoários do gênero *Henneguya* e platelmintos monogenóides nas brânquias de *T. trifurcatus* (5,0%). Três ou mais tipos de parasitas foram observados simultaneamente em um hospedeiro em 11,6% dos casos (Fig. 3).

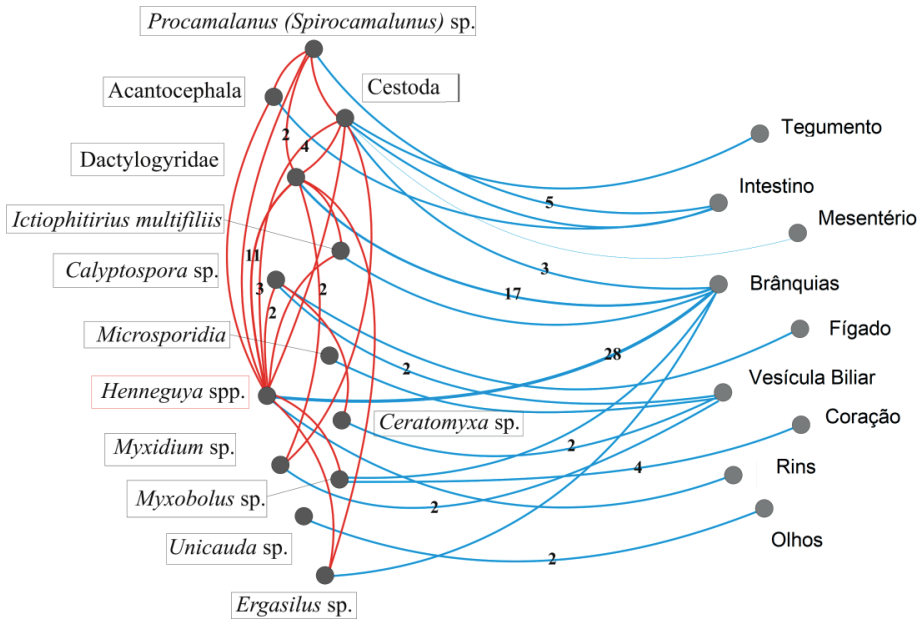


Figura 3. Inter-relações entre os parasitos e os sítios de infecção nos espécimes de *Triportheus trifurcatus* coletados na bacia do médio Tocantins na região amazônica do norte do Brasil.

Fonte: Autores (2023).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ocorrência de parasitos foi registrada em espécies de *Triportheus* em diversos estudos no Brasil e em países da América do Sul. Na região amazônica, platelmintos monogenóides dos gêneros *Anacanthorus*, *Ancistrohaptor*, *Jainus* e *Rhinoxenus* foram registrados nos espécimes de T. angulatus analisados por Kritsky *et al.* (1992), Agarwal & Kritsky (1998) e Moreira et al. (2017). As prevalências registradas nesses estudos são consistentes com as registradas para platelmintos monogenóides nas brânquias dos espécimes de *T. trifurcatus* coletados no médio Tocantins, sendo o presente estudo um novo registro da ocorrência desse grupo de parasitos em peixes da família Triportheidae, na bacia hidrográfica Tocantins-Araguaia.

Golva & Buron (1988) registraram parasitismo pelo acantocéfalo *Palliolisentis quirtqueungulis* em *T. angulatus* da bacia do rio Paraguai, enquanto Iannacone et al. (2000) registraram nematóides do gênero *Procamallanus* neste hospedeiro na Lagoa Yarinacocha

no Peru. Na bacia amazônica, estudos da parasitofauna associada a *T. angulatus* relataram a ocorrência de nematoides dos gêneros *Anisakis*, *Contracaecum* e *Procamallanus* (Abdllah *et al*., 2012, Oliveira *et al*., 2016; Moreira *et al*., 2017). Apesar da baixa resolução taxonômica na identificação de acantocéfalos encontrados em *T. trifurcatus*, o presente estudo representa o primeiro relato desses parasitos em hospedeiros triportheid da bacia do médio Tocantins, enquanto a presença do nematóide *Procamallanus* (*Spirocamallanus*) nos hospedeiros analisados amplia a área conhecida de ocorrência desse parasito no bioma Amazônia oriental.

Oliveira *et al*. (2016) registraram a presença de crustáceos (*Dolops* sp.) e protozoários (*Ichthyophthirius multifiliis* e *Piscinoodinium pilullare*) parasitas em exemplares de *Triportheus* de tributários do rio Amazonas. No entanto, o presente estudo é o primeiro a registrar copépodos ergasilídeos e o protozoário *I. multifiliis* parasitando este peixe, na bacia do Tocantins. O presente estudo amplia o registro de ocorrência de microparasitas eucariotos dos filos Myxozoa, Apicomplexa e Microsporidia em *T. trifurcatus*, e apresenta dados sobre a relação parasito-hospedeiro entre esses táxons parasitários e *T. trifurcatus* na bacia do Tocantins-Araguaia, na porção oriental da região amazônica brasileira.

AGRADECIMENTO

Este estudo contou com o apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), por meio do programa Universal (441645-2014-3) e da bolsa de Produtividade em Pesquisa nº 301497/2016-8, da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Maranhão (FAPEMA), por meio do edital Universal (06339/22) e da Universidade Estadual da Região do Tocantina do Maranhão (UEMASUL).

REFERÊNCIAS

ABDALLAH, V.D; AZEVEDO, R.K; CARVALHO, E. D.; SILVA, R. J. New hosts and distribution records for nematode parasites of freshwater fishes from São Paulo state, Brazil. **Neotrop. Helminthol**., v. 6, n.1, 2012.

AGARWAL, N.; KRITSKY, D.C. 2009. Neotropical Monogenoidea. 33. Three new species of *Ancistrohaptor* n. g. (Dactylogyridae, Ancyrocephalinae) on *Triportheus* spp. (Teleostei, Characidae) from Brazil, with checklists of ancyrocephalines recorded from neotropical characiform fishes. **Systematic Parasitology**. 39. 59-69. 1998.

ARAÚJO, A.S. **Composição ictiofaunística e estratégias reprodutivas de quatro espécies de peixes nativos da Bacia do Rio Piranhas-Assu, Rio Grande do Norte**. Tese (Doutorado de Psicobiologia) – Natal. Universidade Federal do Rio grande do Norte, 2012.

BASTIAN, M.; HEYMANN, S.; JACOMY, M. **Gephi: an open source software for exploring and manipulating networks**. International AAAI Conference on Weblogs and Social Media. 2009.

CHERVEN, K. **Mastering Gephi network visualization**. Birmingham: Packt Publishing.2015

DINIZ, D.; LAUDICINA, A.; BERTOLLO, L. A. C. Chromosomal location of 18S and 5S rDNA sites in *Triportheus* fish species (Characiformes, Characidae). **Genetics and Molecular Biology**, v. 32, n.1, p. 37-41, 2009.

DORIA, C.R.C.; QUEIROZ, J.J. L. A pesca comercial das sardinhas (*Triportheus* spp) desembarcadas no mercado pesqueiro de Porto Velho, Rondônia (1990-2004): Produção pesqueira e perfil geral. **Biotemas**, v. 21, n. 3, p. 99-106, 2008.

GOLVAN, Y.J.; DE BURON, I. Les hôtes des Acanthocéphales. ii - les hotes définitifs. **Ann. Parasitol. Hum. Comp**., v. 63, n.5, p. 349-375. 1988.

HAMMER, Ø; HARPER, D.A.T.; RYAN, P.D. **PAST**: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. 2001.

IANNACONE, J. Á.; LÓPEZ, E. M.; ALVARIÑO, L. F. *Procamallanus (Spirocamallanus) inopinatus* Travassos, Artigas et Pereira, 1928 (Nematoda: Camallanidae) endoparásito de *Triportheus angulatus* (Spix, 1829) (Characidae) en La Laguna de Yarinacocha, Ucayali-Perí. **Biología Pesquera**, v. 28, p. 37-43, 2000.

KRITSKY, D.C; BOEGER, W. A.; VAN EVERY, L. R. Neotropical Monogenoidea. 17. *Anacanthorus* Mizelle and Price, (Dactylogyridae, Anacanthorinae) from characoid fishes of central Amazon. **Journal ofthe Helminthological Society of Washington**, v. 59, p. 25-51, 1992.

MOREIRA, A.C.; OLIVEIRA, T.T.S; MOREY, G.A.M; MALTA, J.C.O. Metazoários parasitas de *Triportheus angulatus* (Spix & Agassiz, 1829) do lago Catalão, rio Solimões, Amazonas, Brasil. **Folia Amazonica**, v. 26, n. 1, p. 9-16, 2017.

OLIVEIRA, M.S.B.; GONÇALVES, R.A.; TAVARES-DIAS, M. Community of parasites in *Triportheus curtus* and *Triportheus angulatus* (Characidae) from a tributary of the Amazon River system (Brazil). **Studies on Neotropical Fauna and Environment.**, v. 51, n. 1, p. 29-36, 2016.

PRESTES, L.; SOARES, M. G. M.; SILVA, F. R.; BITTENCOURT, M. M. 2010. Dinâmica populacional de *Triportheus albus*, *T. angulatus* e *T. auritus* (Characiformes: Characidae) em lagos da Amazônia Central. **Biota Neotrop.,** v. 10, n. 3, 2010.

SANTOS, G. M.; MERONA, B.; JURAS, A. A.; JÉGU, M. **Peixes do baixo rio Tocantins**: 20 anos depois da Usina Hidrelétrica Tucuruí. Brasília. Eletronorte. 2004. 216p.

CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA RADICULAR DE GENÓTIPOS DE *ZEA MAYS* L.

Data de aceite: 01/09/2023

Daniel Lopes Costa
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
Imperatriz – Maranhão
https://orcid.org/0000-0002-2406-5576

Jociel Nascimento de Noronha
Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro
Campos dos Goytacazes – Rio de Janeiro
https://orcid.org/0000-0002-1875-9432

David Januário de Sousa
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
Imperatriz – Maranhão
https://orcid.org/0009-0005-9500-3603

Ivaneide de Oliveira Nascimento
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
Imperatriz – Maranhão
https://orcid.org/0000-0001-7095-7092

Niara Moura Porto
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
Imperatriz – Maranhão
https://orcid.org/0000-0003-3704-7294

RESUMO: Dentre as principais culturas produzidas pela agricultura brasileira, destaca-se o milho (*Zea mays* L.). O milho é um dos cereais mais consumidos no mundo, sendo importante para suprir as necessidades nutricionais humanas e animais. Esse vegetal pertence à família Poaceae e seu desenvolvimento depende de fatores como temperatura, água e luminosidade para expressar seu máximo potencial genético. O trabalho teve como objetivo realizar a caracterização anatômica radicular de variedades de milho, fornecendo subsídios para a escolha das cultivares de milho mais adaptadas à região. O experimento foi conduzido na cidade de Imperatriz, nas estações do Centro de Difusão Tecnológica, foram utilizadas quatro cultivares de milho, sendo elas: Anhembi, M 274, AG 1051 e BR 106. O plantio foi realizado em vasos dispostos em casa de vegetação. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizados em esquema factorial 2 x 4 constituído de cinco repetições. As secções transversais foram realizadas à mão livre, com auxílio de lâmina cortante, posteriormente foram clarificadas com hipoclorito de sódio, neutralizado com ácido acético a 0,2%, lavadas com água destilada e coradas com uma solução de

Azul de Astra e Safranina. Para a observação da endoderme, os cortes transversais passaram pelo mesmo processo, entretanto, foram corados com Sudan III. A redução do córtex nas cultivares que foram estressadas mostraram a maior sensibilidade desse tecido anatômico em ambientes com déficit hídrico. O genótipo M274 apresentou modificações pertinentes nos caracteres morfoanatômicos analisados, mostrando sua eficiência, a qual favorece sua sobrevivência em ambientes com deficiência hídrica.
PALAVRAS-CHAVE: Milho; Anatomia Vegetal; Raiz.

ANATOMICAL ROOT CHARACTERIZATION OF *ZEA MAYS* L. GENOTYPES

ABSTRACT: Among the main crops produced by Brazilian agriculture, maize (*Zea mays* L.) stands out. The maize is one of the most consumed cereals in the world, playing a crucial role in meeting human and animal nutritional needs. This plant belongs to the Poaceae family, and its development depends on factors such as temperature, water and light to express its maximum genetic potential. The objective of this study was to perform the root anatomical characterization of maize varieties, providing subsidies for the selection of maize cultivars best adapted to the region. The experiment was conducted in the city of Imperatriz, at the stations of the Technological Diffusion Center, four maize cultivars were used: Anhembi, M 274, AG 1051 and BR 106. Planting was carried out in pots arranged in a greenhouse. The experimental design used was completely randomized in a 2 x 4 factorial scheme, with five replicates. Cross-sections were performed freehand, with the aid of a cutting blade, then clarified with sodium hypochlorite, neutralized with 0.2% acetic acid, washed with distilled water and stained with a solution of Astra Blue and Safranin. For the observation of the endoderm, the cross-sections underwent the same process, however, they were stained with Sudan III. The reduction of cortex in cultivars that were stressed showed the greater sensitivity of this anatomical tissue in environments with water deficit. The genotype M274 showed relevant modifications in the morphoanatomical characters analyzed, showing its efficiency which favors its survival in water-deficient environments.
KEYWORDS: Maize; Plant Anatomy; Root.

1 | INTRODUÇÃO

A maior parte da produção agrícola do Brasil é originária da agricultura cultura familiar e, entre as principais culturas produzidas pela agricultura familiar brasileira, destaca-se o milho (*Zea mays* L.), esse cereal é voltado para suprir as necessidades nutricionais humanas e animais (Carneiro, 2017). De acordo com dados da CONAB (2018) a estimativa do consumo mundial é de 487,9 milhões de toneladas de grãos, representando um crescimento de 6,4 milhões de toneladas e um aumento de 1,33%.

A espécie *Z. mays* é uma planta pertencente à família Poaceae, com origem nas américas, a qual o cultivo é realizado há pelo menos cinco mil anos. É um dos cereais mais consumidos do mundo, pois tem grande valor nutritivo e potencial de produção (Oliveira Júnior *et al*., 2011). O milho é uma gramínea anual, pertencente ao grupo de plantas de mecanismo fotossintético tipo C4 com ampla adaptação a diferentes condições de

ambiente, apesar do seu elevado potencial produtivo, sua enorme distribuição geográfica e sua vasta capacidade adaptativa, o milho apresenta grande sensibilidade a estresses abióticos (Clemente, 2017).

O período de desenvolvimento do milho é limitado por fatores como temperatura, água e luminosidade, por esse motivo essa cultura necessita que os índices dos fatores climáticos, especialmente a temperatura, o fotoperíodo e precipitação pluviométrica, atinjam níveis adequados para que a sua capacidade genética se expresse ao máximo (Cruz *et al.*, 2016). O estresse causado pela baixa disponibilidade hídrica é o principal fator abiótico relacionado a perdas no desempenho produtivo de cultivos de milho. Essa baixa produtividade anual ocorre devido à seca e provocam uma queda de aproximadamente 15% do potencial de rendimento. Os maiores prejuízos ocorrem em países tropicais que dependem de uma temporada de chuvas relativamente imprevisível para o crescimento da cultura (Abreu, 2013).

O milho é cultivado em regiões cuja precipitação varia de 300 a 5.000 mm anuais, sendo que a quantidade de água consumida por uma planta de milho durante o seu ciclo está em torno de 600 mm (Magalhães *et al.*, 2002). Apesar do elevado potencial produtivo, o milho apresenta acentuada sensibilidade a estresse de natureza abiótica, que aliada à sua baixa plasticidade foliar, acentuada interação ambiental, reduzida prolificidade e baixa capacidade de compensação efetiva, o seu cultivo necessita ser rigorosamente planejado e criteriosamente manejado, objetivando a obtenção de produtividades satisfatórias e lucrativas (Baldo, 2007).

A anatomia vegetal também tem forte influência nos estudos de como as plantas se comportam quando são submetidas a estresses bióticos e abióticos, principalmente ao déficit hídrico e a salinidade do solo, que são problemas constantes na produção agrícola do Brasil. Dessa forma, a anatomia vegetal contribui no desenvolvimento de plantas mais adaptadas às condições adversas de campo, possibilitando a compreensão de como as plantas se comportam estruturalmente e fisiologicamente quando são afetadas por fatores bióticos ou abióticos, abrindo uma gama de possibilidades para o melhoramento genético de plantas.

2 | METODOLOGIA

O experimento foi conduzido na cidade de Imperatriz, no estado do Maranhão, nas estações experimentais do Centro de Difusão Tecnológica (CDT). A classificação climática segundo Alvares (2013), caracteriza as regiões como tipo B1wA'a', úmido com moderada deficiência hídrica.

No experimento foram utilizadas quatro cultivares de milho, sendo elas: Anhembi, M 274, AG 1051 e BR 106. Os materiais usados nos ensaios de introdução e avaliação foram adquiridos no comércio local. O plantio foi realizado manualmente, em vasos dispostos em casa de vegetação. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizados em esquema fatorial 2 x 4 constituídos de cinco repetições (Quadro 1).

Tratamento	Descrição
T1	Genótipo Anhembi - com irrigação a 40% e 100% da ETc.
T2	Genótipo M274 - com irrigação a 40% e 100% da ETc.
T3	Genótipo Ag 1051 - com irrigação a 40% e 100% da ETc.
T4	Genótipo BR 106 com irrigação a 40% e 100% da ETc.

Quadro 1. Descrição dos tratamentos utilizados para a cultura de milho.

Fonte: Autores (2023).

O espaçamento entre os vasos foi de 0,60 m de comprimento com 0,40m entre plantas; e os tratos culturais foram realizados seguindo as recomendações para a cultura (Figura 1 A-B). Foram realizadas inspeções periódicas ao campo experimental com a finalidade de observar o surgimento de sintomas de doenças ou manifestações morfológicas provocadas por estresse hídrico.

Após experimento em campo, as amostras foram coletadas e conduzidas ao laboratório de microscopia da UEMASUL. Parte das amostras coletadas dos órgãos vegetativos (caule, folha e raiz) foram fixadas em FAA_{50} (formalina 10%, ácido acético 5% e etanol 5%) e conservadas em álcool a 70°GL para análises anatômicas. Salienta-se que para este estudo foram utilizadas apenas amostras radiculares.



Figura 1. A-B: Experimento em casa de vegetação em diferentes estádios vegetativos.

Fonte: Noronha (2021).

Para os cortes anatômicos em raiz, foram executadas secções transversais à mão livre com auxílio de lâminas cortantes comerciais. As secções foram clarificadas com hipoclorito de sódio a 20%, neutralizadas com ácido acético a 0,2%, lavadas com água destilada, coradas com uma solução de Azul de Astra e Safranina (Kraus; Arduin, 1997) e montadas em lâminas com glicerina 50%. Para a observação da endoderme, as secções transversais foram clarificadas com hipoclorito de sódio a 20%, neutralizadas com ácido acético a 0,2%, lavadas com água destilada e coradas com Sudan III, e posteriormente montadas em lâminas com glicerina 50% (Figura 2).

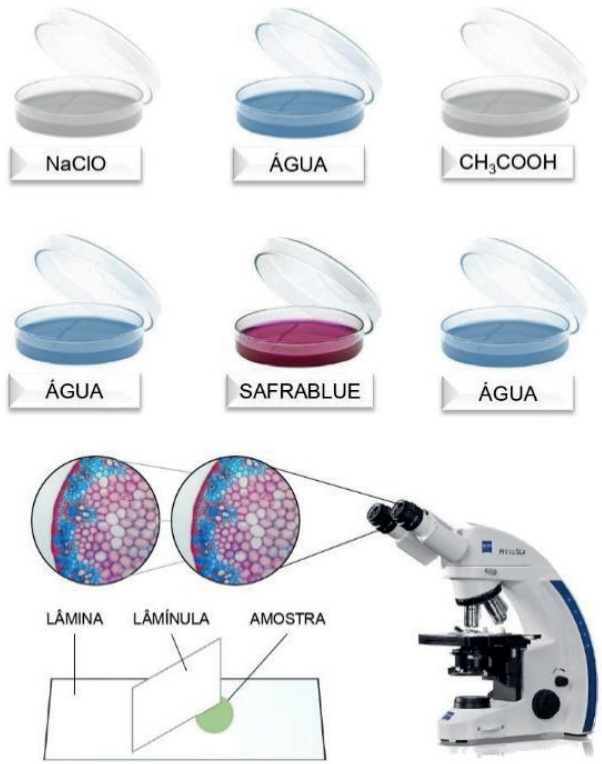


Figura 2. Processo de corte e coloração das amostras radiculares de *Zea mays* L.

Fonte: Noronha (2023).

3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

De forma geral as raízes, em seção transversal, das cultivares de milho Anhembi, M274, Ag1051 e BR106 apresentaram formato circular, sendo característico da cultura (Figura 3A-H). Em todos os tratamentos a epiderme mostrou-se uniestratificada, apresentando paredes celulares e cutículas espessas possuindo um formato quadrado

pentagonal ou hexagonal. Entretanto, a cultivar M271 quando submetida a 40% da ETc, apresentou epiderme mais espessa de formato arredondado e com espessamento em “O” (Figura 5A-D).

Foram observados pêlos radiculares absorventes (Figura 5A-D) com variações de tamanho em todos os genótipos, entretanto, nas cultivares Anhembi (Figura 3A-H) e BR 106 (Figura 3A-H) com 100% e 40% da ETc, observou-se pêlos curtos. Além disso, foi observado pêlos radiculares longos, com ramificação bifurcada em M274 (Figura 3A-H) e em AG 1051 (Figura 3A-H) os pêlos são escassos na raiz.

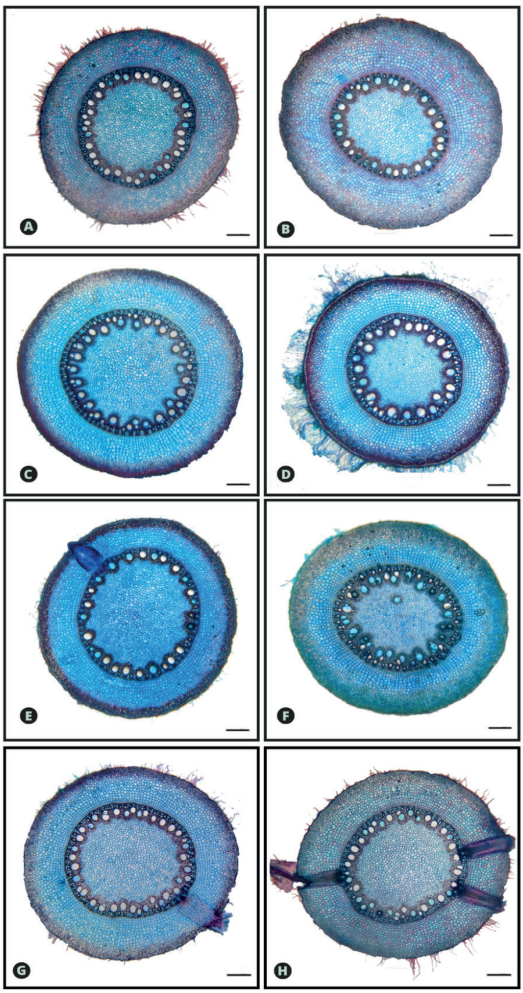


Figura 3. **A-H:** Cortes transversais de *Zea mays* mostrando as estruturas presentes na raiz. **A:** Cultivar Anhembi com 40% da ETc. **B:** Cultivar Anhembi com 100% da ETc. **C:** Cultivar M274 com 40% da ETc. **D:** Cultivar M274 com 100% da ETc. **E:** Cultivar Ag 1051 com 40% da ETc. **F:** Cultivar Ag 1051 com 100% da ETc. **G:** Cultivar BR 106 com 40% da ETc. **H:** Cultivar BR 106 com 100% da ETc. Barra: 150μm.

Fonte: Autor (2022).

O córtex das cultivares estudadas fica localizado entre a epiderme e o cilindro vascular, é uma região formada por células parenquimáticas com paredes delgadas e vários espaços intercelulares (Figura 4A-D). Em todos os tratamentos foi observado o córtex dividido em três partes: exoderme (região periférica do córtex); parênquima cortical (região mediana do córtex) e endoderme (região interna do córtex) (Figura 4A-D).

A exoderme uniestratificada fica localizada logo abaixo da epiderme, possui células de formato redondo, pentagonal e hexagonal em todos os tratamentos (Figura 4A-D). Esta camada possui espessamento em "O" para todos os genótipos, contudo, na cultivar Anhembi visualiza-se células mais desorganizadas.

O parênquima cortical compreende uma grande parte da raiz (Figura 4A-D). Em relação ao número de camadas, houve uma diferenciação considerável entre os genótipos, no qual o genótipo Anhembi apresentou até 16 camadas, em M274 foi visualizado cerca de 11-12 camadas e os genótipos AG 1051 e BR 106 apresentaram 9-10 camadas.

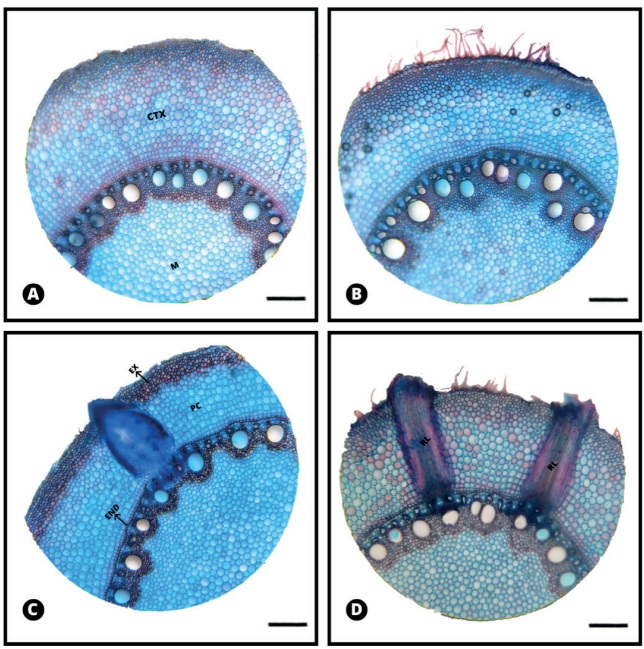


Figura 4. **A-D:** Cortes transversais de *Zea mays*. Observação em microscópio em óptico 10x. **A**: Cultivar Anhembi com 100% da ETc. **B**: Cultivar M274 com 40% da ETc. **C**: Cultivar AG 1051 com 40% da ETc. **D**: Cultivar BR 1051 com 100% da ETc. Legenda: CTX= Córtex; END= Endoderme; EX= Exoderme; M= Medula; PC= Parênquima Cortical; RL= Raízes Laterais. Barra: 200 μm.

Fonte**:** Autores (2022).

A endoderme dos genótipos estudados consiste em uma camada de células comumente quadradas e que possuem um espessamento de suberina denominado estrias de Caspary em formato de "U", não havendo alteração quando irrigado com 100% e 40%

da ETc (Figura 5A-D).

O cilindro vascular é bem desenvolvido em todos os tratamentos submetidos a 100% e 40% da ETc, sendo encontrado no formato circular em todas as cultivares estudadas. Os cilindros de maiores tamanhos foram encontrados em BR 106 e AG 1051, esta última possui uma região cortical menor devido ao grande cilindro vascular (Figura 6A-D). Em Anhembi e M274 observou-se um cilindro vascular menor e maior área cortical.

Nesse estudo observou-se um periciclo mais largo nas raízes dos tratamentos submetidos a 100% da ETc comparado aos das raízes com 40% da ETc. As raízes laterais (Figura 5A-D) são formadas próximas do meristema apical da raiz, possui epiderme uniestratificada e células corticais foram observadas em apenas dois genótipos dos quatro estudados. Observou-se raízes laterais com maior espessura em AG 1051 com 100% da ETc e em BR 106 com 100% da ETc com três raízes laterais menos espessas (Figura 3A-H), enquanto em M274 e Anhembi elas estão ausentes.

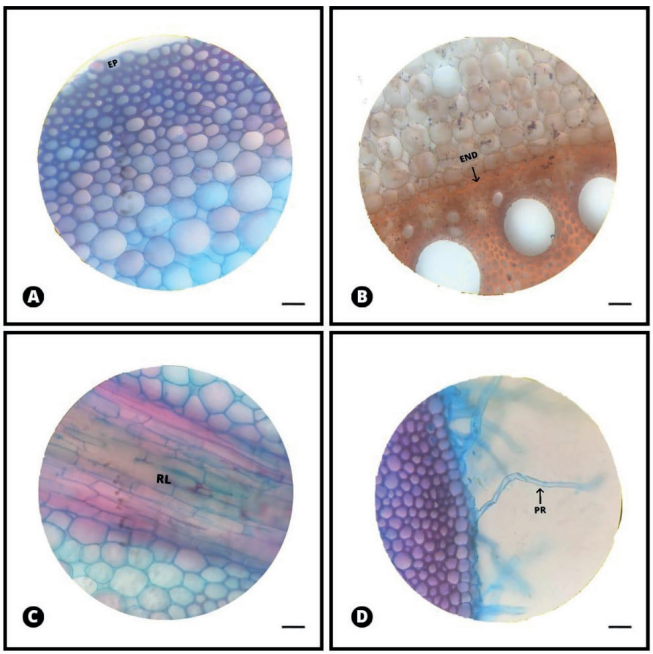


Figura 5. **A-D:** Cortes transversais de *Zea mays* com observação em microscópio óptico. **A:** Epiderme com espessamento em "O" em M274 com 40% da ETc. **B:** Endoderme com espessamento em "U" em AG 1051 com 100% da ETc. **C:** Raiz Lateral em Anhembi com 100% da ETc. **D:** Pêlos radiculares em M274 com 40% da ETc. Legenda: END= endoderme; EP= epiderme; PR= pelos radiculares; RL= raiz lateral. Barra: 60 μm.

Fonte: Autores (2022).

O tecido floemático é conspícuo em todos os tratamentos avaliados. Em Anhembi e M274 são visualizados vasos maiores no floema que se alternam com o protoxilema

(Figura 6A-D). O metaxilema em Anhembi e M274 submetidos a 100% da ETc apresentam até 25 vasos (Figura 6A-D), enquanto em AG 1051 com 100% da ETc apresentou até 27 vasos (Figura 6A-D) e em BR 106 submetido a 100% da ETc foi visualizado até 38 vasos de metaxilema (Figura 6A-D), estando estes mais desorganizados.

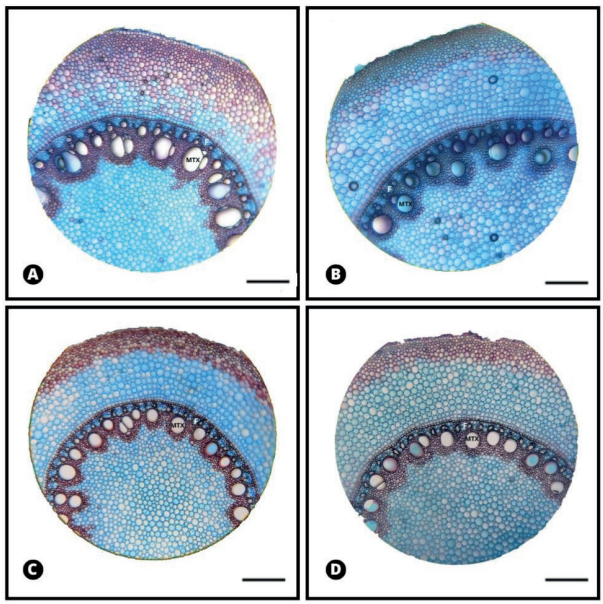


Figura 6. **A-D:** Cortes transversais de *Zea mays* com observação em microscópio óptico. **A**: Anhembi com 100% da ETc. **B**: M274 com 100% da ETc. **C**: AG 1051 com 100% da ETc. **D**: BR 106 com 100% da ETc. Legenda: F= Floema; MTX= Metaxilema. Barra: 250 μm.

Fonte: Autores (2022).

A epiderme das raízes de plantas vasculares é um tecido, de forma geral, formado por uma camada de células de formato irregular, achatadas, vivas e aclorofiladas. De acordo com Magalhães (2012), o estresse pode causar um aumento no espessamento da epiderme, fator encontrado em M271 submetido a 40% da ETc. Segundo Souza *et al*. (2009) a epiderme apresenta esse comportamento, pois, assume o papel de barreira quando a raiz possui uma exoderme e uma endoderme menos espessa.

De acordo com Evert (2006), os pêlos radiculares são extensões de uma célula epidérmica, tipicamente unicelulares e não ramificados, sendo ramificados mais raros. No presente estudo, foram encontrados uma maior quantidade de pêlos curtos e não ramificados, porém o genótipo M274 apresentou pêlos longos e ramificados. Essa ramificação pode ser explicada como um recurso avançado e especializado para plantas que vivem em solos secos e essa expressão fenotípica em determinadas raízes ajuda na eficiência de absorção de água do vegetal (Medeiros, 2006).

O sistema fundamental (córtex) é uma região que fica entre a epiderme e o cilindro

vascular, sendo composta por células parenquimáticas de paredes delgadas e com espaços intercelulares. A exoderme tem a função de selecionar e impedir a entrada de substâncias tóxicas ou microrganismos, já em casos de estresse hídrico essa camada pode impedir a saída de água do xilema para o solo, evitando a desidratação (Peña-Valdivia *et al*., 2005). De acordo com Chaves (2012) a exoderme (região externa do córtex) possui células de formato quadrado à heptagonal, sendo encontradas mais comumente no formato pentagonal e hexagonal, características encontradas no presente estudo.

O genótipo Anhembi foi o que apresentou um maior número de camadas, um total de 16. Uma explicação para a redução da região cortical nas cultivares é devido ao estresse hídrico causado, uma vez que Pereira *et al.* (2008) descreve que o córtex é um dos tecidos anatômicos da raiz com maior sensibilidade a mudanças no ambiente.

Internamente ao córtex mediano, visualiza-se a endoderme formando uma bainha em torno do cilindro vascular (Van Fleet, 1961; Enstone *et al*., 2003). Nos genótipos estudados observou-se células quadradas com espessamento em "U", sendo uma característica dos grupos de monocotiledôneas (Silva; Scatena, 2011). Nas cultivares estudadas o cilindro vascular é bem desenvolvido, podendo ser encontrado no formato circular, Chaves (2012) em seu trabalho com gramíneas observou que o cilindro vascular possui formato ovoide.

As raízes laterais têm origem através de divisões anticlinais e periclinais do periciclo, crescendo de forma continuada por meio do córtex (Cluter *et al*., 2009). Armstrong et al. (1991) cita implicações para o desenvolvimento de raízes laterais em espécies de zonas úmidas devem ser induzidas por caracteres genéticos, e não por características ambientais, todavia, os genótipos de *Z. mays* que foram submetidas a estresse não apresentaram raízes laterais, enquanto nas cultivares que receberam irrigação a 100% da ETc foi observado o desenvolvimento dessas raízes.

Os genótipos AG 1051 e BR106 apresentaram um maior número de vasos do metaxilema e o tamanho dessas células foi menor do que as observadas em Anhembi, corroborando o trabalho de Magalhães (2012). Em M274 quando submetido a estresse hídrico apresentou as menores células do metaxilema dentre os demais tratamentos, Souza *et al*. (2009) relata que a redução dos vasos do xilema está relacionada com a diminuição do risco de embolismo e o aumento da resistência do fluxo de água. Alterações semelhantes nos vasos de xilema foram observadas em genótipos de milho tolerantes à seca (Peña-Valdivia *et al*., 2005) e em milhos híbridos (Li *et al*., 2009).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As cultivares analisadas demonstraram variações em suas características morfológicas, mas também apresentaram semelhanças anatômicas, como o formato arredondado da raiz, a espessura da epiderme e o formato da endoderme. O genótipo M274 se destacou ao exibir modificações específicas em sua anatomia quando submetido

a 40% da ETc, como epiderme mais espessa e pêlos radiculares com ramificação bifurcada. Além disso, o genótipo M274 apresentou modificações pertinentes nos caracteres morfoanatômicos, mostrando sua eficiência em condições de escassez de água, o que pode favorecer sua sobrevivência em regiões com deficiência hídrica.

Considerando os desafios ambientais, como a crise climática global e o crescimento populacional, é fundamental otimizar a produção agrícola para garantir a segurança alimentar. Nesse sentido, a compreensão dos mecanismos fisiológicos do milho em resposta ao estresse hídrico, por meio da análise da anatomia vegetal, torna-se crucial. Portanto, este estudo enfatiza a relevância dessas pesquisas para a agricultura nas regiões do Maranhão, oferecendo insights valiosos para a seleção de genótipos com maior capacidade de adaptação ao estresse hídrico.

AGRADECIMENTO

Os pesquisadores agradecem ao financiamento da bolsa de Iniciação Cientifica ao órgão de fomento da UEMASUL para a realização deste projeto.

REFERÊNCIAS

ABREU, V. M. D. **Seleção indireta para tolerância a seca em milho por meio de características agronômicas e de sementes**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 96 p. 2013.

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorol Z**, Piracicaba, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ARMSTRONG, W. et al. Root adaptation to soil waterlogging. **Aquatic Botany**, v. 39, n. 1–2, p. 57–73, jan. 1991.

BALDO, M. N. **Comportamento anatômico, fisiológico e agronômico do milho (Zea mays L.) submetido a estresses de ambiente em diferentes estádios fenológicos.** Dissertação (Mestrado em agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2007.

CARNEIRO, Henrique. **Comida e sociedade: uma história da alimentação**. Elsevier Brasil, 2017.

CHAVES, B.E. **Aspectos anatômicos da raiz e lâmina foliar de Saccharum L. (Poaceae) nativas do Brasil**. Dissertação (Mestrado em Ciência Biológicas) – Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília, 2012.

CLEMENTE, D. I. **Estresse hídrico sobre caracteres morfofisiológicos e agronômicos em populações de milho.** 2017. 114 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2017.

CONAB - Companhia nacional de abastecimento. **Perspectiva para agropecuária.** Brasília, v.6. Safra 2018-019. Nov. 2018. Disponível em: Acesso em: 25 julho. 2022.

CRUZ, J. C. et al. **Embrapa Milho e Sorgo, sistemas de Produção**, 2 ISSN 1679-012X Versão Eletrônica - 6ª edição, set. 2016. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/27037/1/Plantio.pdf. Acesso em: jul 2022.

CUTLER, David F.; BOTHA, Ted; STEVENSON, Dennis Wm. **Anatomia vegetal: uma abordagem aplicada**. Artmed Editora, 2009.

ENSTONE, E. D.; PETERSON, C. A.; MA, F. 2003. Root endodermis and exodermis: structure, function, and responses to the environment. **Journal of Plant Growth Regulation** 21:335–351.

EVERT, R. F. 2006. **Esau's Plant anatomy. meristems, cells, and tissues of the plant body - Their structure, function, and development**. New Jersey, John Wiley & Sons, Inc.

KRAUS, J.; ARDUIN, M. **Manual básico de métodos em morfologia vegetal**. Edur, Seropédia, Rio de Janeiro,1997.

LI, Y.; SPERRY, J. S.; SHAO, M. 2009. Hydraulic conductance and vulnerability to cavitation in corn (*Zea mays* L.) hybrids of differing drought resistance. **Environ. Exp. Bot**. v. 66, p. 341–346, 2009.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; CARNEIRO, N. P.; PAIVA, E. **Fisiologia do Milho. Embrapa Milho e Sorgo.** Sete Lagoas, MG, 2002. Disponível em: http://docsagencia.cnptia.embrapa.br/milho/circul22.pdf. Acesso em: jun. 2022.

MAGALHÃES, P. C.; SOUZA, T. C; ALBUQUERQUE, P. E. P. **Efeitos do estresse hídrico na produção de grãos e na fisiologia da planta de milho**. Sete Lagoas, MG, 2012. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/942408. Acesso em jul. 2022.

MEDEIROS, J. D. Pelos radiculares ramificados em Miconia albicans (Sw). Triana (Melastomataceae). **INSULA**, v. 35, p. 85-94, 2006.

OLIVEIRA JÚNIOR, G. I. et al. Importância nutricional do milho. In: BORÉM, A.; RIOS, S. de A. (Org.). **Milho Biofortificado**. 1ed. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2011, v. 5, p. 107-124.

PENA-VALDIVIA, C. B.; SÁNCHEZ-URDANETA, A. B.; TREJO, C.; ROGELIO AGUIRRE R. J.; CÁRDENAS E. S. 2005. Root anatomy of drought sensitive and tolerant maize *(Zea mays* L.) seedlings under different water potentials. **Cereal Res. Commun**. v. 33, p. 705–712, 2005.

PEREIRA, F. J.; CASTRO, E. M.; SOUZA, T. C.; MAGALHÃES, P. C. Evolução da anatomia radicular do milho 'Saracura' em ciclos de seleção sucessivos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** v.43, n.12, p. 1649-1656, 2008.

SILVA, I. V.; SCATENA, V. L.Anatomia de raízes de nove espécies de Bromeliaceae (Poales) da região amazônica do estado de Mato Grosso, Brasil. **Acta Botanica Brasilica,** v. 25, n. 3, p. 618-627, 2011.

DE SOUZA, T. C. et al. Morpho-anatomical characterization of root in recurrent selection cycles for flood tolerance of maize (Zea mays L.). **Plant, Soil and Environment**, v. 55, n. 11, p. 504-510, 2009

VAN FLEET, D. S. 1961. Histochemistry and function of the endodermis. **The Botanical Review,** v. 27, n. 2, p.165-220, 1961.

WILLIAMS, B. C. 1947. The structure of the meristematic root tip and origin of the primary tissues in the roots of vascular plants**. American Journal of Botany, v. 34, n.** 9, p. 455-462, 1947.

CAPÍTULO 3

ESTRUTURA ANATÔMICA DE *SCHIZOLOBIUM PARAHYBA VAR. AMAZONICUM* (HUBER EX DUCKE) BARNEBY)

Data de aceite: 01/09/2023

Diana Neres dos Santos
Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro
Campos dos Goytacazes – RJ
https://orcid.org/0009-0000-0727-4926

Jociel Nascimento de Noronha
Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro
Campos dos Goytacazes – RJ
https://orcid.org/0000-0002-1875-9432

Sandriel Lima Nascimento
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
Imperatriz - Maranhão.
https://orcid.org/0000-0002-0998-067X

Maria Gabriela Sales da Silva
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
Imperatriz - Maranhão.
https://orcid.org/0009-0006-5059-8399

Vinicius de Sousa Lima
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
Imperatriz - Maranhão.
https://orcid.org/0000-0002-5875-2980

Thatyane Pereira de Sousa
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
Imperatriz - Maranhão.
https://orcid.org/0009-0009-1263-0388

João Miguel Santos Dias
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
Açailândia – MA
https://orcid.org/0000-0002-8030-739X

Niara Moura Porto
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
Imperatriz – MA
https://orcid.org/0000-0003-3704-7294

RESUMO: *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby. (Fabaceae), conhecida popularmente como paricá é nativa da Amazônia e apresenta rápido crescimento e uniformidade do fuste. Por apresentar crescimento acelerado a espécie pode ser usada no reflorestamento de áreas degradadas e na indústria madeireira, como matéria prima para a criação de painéis de compensado empregados na construção civil. O compensado é formado por chapas de madeira colada que podem possuir variados comprimentos e por isso se adequam ao tamanho da estrutura a ser construída. O presente trabalho objetivou realizar a

descrição das estruturas anatômicas que compõem o lenho de paricá, para uma melhor caracterização da madeira, bem como seu emprego na indústria florestal e identificação botânica. A madeira foi retirada do caule na altura de 1.30 m do chão. Foram retirados corpos-de-prova na região do cerne periférico (longitudinal, radial e tangencial), onde foram amolecidos em uma solução de glicerina e água destilada e armazenados em estufa à 60°C. Posteriormente, os corpos de prova foram seccionados a mão livre com auxílio de lâminas comerciais, as secções foram clarificadas com hipoclorito de sódio a 20%, neutralizadas com ácido acético a 0,2% e coradas com solução de safranina 1%. Em seção transversal, o parênquima axial é do tipo paratraqueal aliforme/losangular, não em faixas, disposto em linhas curtas entre raios e fibras, vasicêntrico, com porosidade difusa e germinados múltiplos. Foi observado células obstruídas por tilos. Em secção tangencial, o parênquima das amostras analisadas apresentou raios fusiformes e multisseriados com até três células de largura e vinte células de comprimento. Em secção radial, os vasos são longos com placas de perfurações simples e raios indistintos. Quanto as fibras presentes na espécie, são do tipo libriformes, com pontoações simples e fibrotraqueídes. O estudo anatômico ressalta a importância de uma compreensão abrangente da madeira, permitindo que seu potencial seja explorado de maneira sustentável.
PALAVRAS-CHAVE: anatomia da madeira, construção civil, paricá.

ANATOMICAL STRUCTURE OF *SCHIZOLOBIUM PARAHYBA VAR. AMAZONICUM* (HUBER EX DUCKE) BARNEBY)

ABSTRACT: *Schizolobium parahyba* var. amazonicum (Huber ex Ducke) Barneby. (Fabaceae), popularly known as paricá, is native to the Amazon and presents fast growth and uniformity of the stem. Due to its rapid growth, the species can be used in the reforestation of degraded areas and in the timber industry, as raw material for the creation of plywood employee panels in civil construction. Plywood is formed by glued wood sheets that can have different lengths and therefore adapt to the size of the structure to be built. The present work aimed to carry out a description of the anatomical structures that make up the paricá wood, for a better characterization of the wood, as well as its use in the forestry industry and botanical identification. The wood was removed from the stem at a height of 1.30 m from the ground. Specimens were taken from the peripheral core region (longitudinal, radial and tangential), where they were softened in a solution of glycerin and distilled water and stored in an oven at 60°C. Subsequently, the specimens were sectioned freehand with the aid of commercial blades, the sections were clarified with 20% sodium hypochlorite, neutralized with 0.2% acetic acid and stained with 1% safranin solution. In cross-section, the axial parenchyma is of the paratracheal aliform/lozenge type, not in bands, disposed in short lines between rays and fibers, vasicentric, with diffuse porosity and multiple germinates. Cells obstructed by tyloses were observed. In a tangential section, the parenchyma of the samples presented presented fusiform and multiseriate rays with up to three cells in width and twenty cells in length. In radial section, vessels are long with simple perforated plates and indistinct rays. As for the fibers present in the species, they are of the libriform type, with simple pits and fibrotracheids. The anatomical study underscores the importance of a comprehensive understanding of wood, allowing its potential to be exploited in a sustainable manner.
KEYWORDS: wood anatomy, building industry, paricá.

1 | INTRODUÇÃO

Schizolobium parahyba var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby é conhecida popularmente como paricá, pertence à família Fabaceae e subfamília Caesapinoideae, está distribuída da América Central ao Sul do Brasil e possui indivíduos nativas da Floresta Amazônica e da Mata Atlântica. A distribuição geográfica é ampla e distinta com duas variedades muito semelhantes: *S. parahyba* var. *parahyba* Barneby (guapuruvu) e *S. parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (paricá) (Tuchetto-Zolet *et al*., 2012).

Sua ocorrência se dá na floresta amazônica do Brasil, Colômbia, Peru, Bolívia e Venezuela. No Brasil, há ocorrência nos estados do Pará, Mato Grosso, Acre e Rondônia (Flora do Brasil, 2023). O paricá pode atingir até 40 m de altura e 100 cm de diâmetro a altura do peito (DAP), possui folhas bipinadas, inflorescência em panícula, flores com sépalas verdes e pétalas amarelas, fruto legume samaroide. Apresenta bom crescimento e fuste retilíneo isento de ramificações, se tornando uma alternativa para plantios comerciais e replantios em áreas destruídas (Souza *et al*., 2003; Flora do Brasil, 2023).



Figura 1. Espécie paricá.

Fonte: EMBRAPA (2023).

2 | METODOLOGIA

A análise anatômica ocorreu a partir da madeira retirada do caule que foi subdividida em toras com 30 cm de diâmetro e 30 cm de comprimento, localizadas na altura de 1,30 m da árvore (Figura 2). Posteriormente, houve a extração de corpos-de-prova na região do

cerne periférico com dimensões 2 cm x 1 cm x 1,5 cm e 1 cm x 1 cm x 1,5 cm nos sentidos longitudinal, radial e tangencial, respectivamente, para as mensurações anatômicas (Figura 3). Para a realização dos cortes anatômicos, os corpos de prova foram amolecidos por meio de uma solução de glicerina (12,5%) e água destilada (37,5%) preparadas e armazenados em estufa à 60°C (Burger; Richter, 1991).



Figura 2. Divisões do caule de paricá, toras com 30 cm de DAP e 30 cm de altura, utilizadas para extração de corpos de prova dos cortes anatômicos.

Fonte: Dias (2023).



Figura 3. Corpo de prova utilizado para realização dos cortes anatômicos embebidos em glicerina 50%.

Fonte: Autores (2023).

A preparação de lâminas histológicas seguiu a técnica descrita por Doğu e Grabner (2010), em que os cortes foram submetidos à clarificação com hipoclorito de sódio (60%) e corados com safranina 1%. A maceração para a dissociação das células seguiu o método proposto por Franklin (1945, modificado por Kraus e Arduim, 1997), por fim, foi corada com safranina 1% aquoso e montada em glicerina 50%.

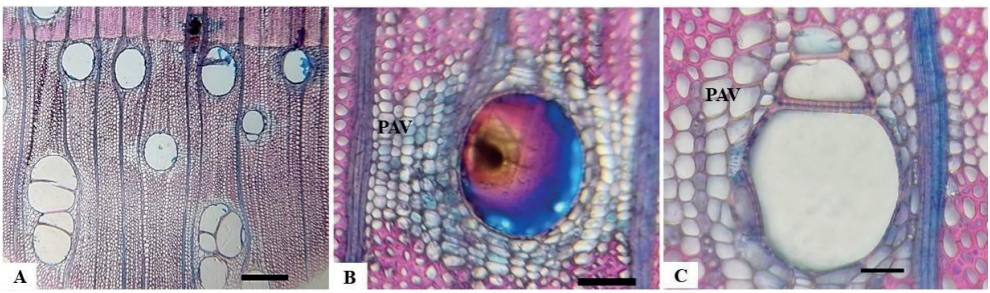
Foram mensurados o diâmetro tangencial e comprimento dos elementos de vaso em micrômetro (μm), a partir do software Image J. No total, foram mensurados 171 vasos para determinação do diâmetro e 25 vasos para determinação do comprimento (Rodrigues, 2010).

Na análise anatômica microscópica do lenho foram adotadas as Normas de Procedimentos em Estudos em Anatomia de Madeira do IBAMA (Coradin; Muniz, 1992), de acordo com a COPANT e IAWA Committee (1989). As características anatômicas observadas foi: vasos (porosidade, arranjo, agrupamento, forma da secção, placas de perfuração, tilos, depósitos em vasos, pontoações intervasculares e pontoações radiovasculares); parênquima axial (disposição); e raios (largura em número de células e composição celular).

3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em seção transversal, o parênquima axial da espécie é do tipo paratraqueal aliforme/losangular (Figura 4 A-B), não em faixas, disposto em linhas curtas entre raios e fibras, vasicêntrico (Figura 4B-C), igualmente observado por Nisgoski et al. (2012) para análises anatômicas da espécie *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake em relação ao tipo de parênquima axial.

A quantidade de parênquima axial é uma exclusividade do xilema secundário de espécies de ambiente quente e com baixa latitude. Tais células tem relação com o armazenamento de substâncias essenciais para a sobrevivência (Burger; Richter, 1991).



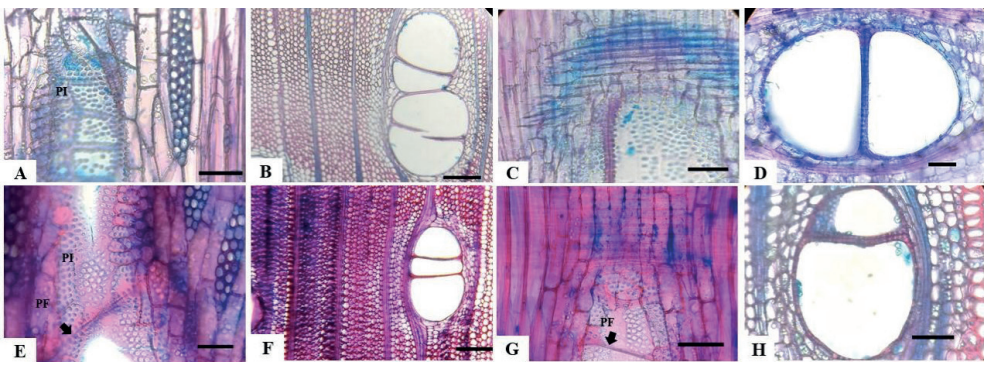
Legenda: PAV- Parênquima axial paratraqueal, aliforme e vasicêntrico; Barra: 200 μm. Fonte: Autores (2022).

Figura 4. **A-C**: Fotomicrografia da seção transversal, mostrando o tipo de parênquima axial de *Schizolobium amazonicum*. **A.** Parênquima axial paratraqueal aliforme; **B-C.** Detalhe do parênquima axial paratraqueal vasicêntrico.

A espécie *Schizolobium amazonicum* apresenta vasos com arranjo diagonal/oblíquo (Figura 4A). Alguns encontram-se obstruídos por inclusões (resina ou goma) (Figura 4B). O agrupamento é considerado solitários (maior parte) (Figura 4B), germinados ou múltiplos radiais de até três poros (Figura 4A-C; Figura 5B, D, F e H). O que também foi encontrado em trabalhos de Nisgoski et al. (2012) com a espécie *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake e Da Silva et al. (2016) com a espécie *Schizolobium parahyba* var. amazonicum que apresentaram porisidade difusa.

As características dos vasos como tamanho e obstrução, pode influência na utilização da madeira, como a secagem e a impregnação de produtos preservativos, como citado por Lima *et al.* (2021).

A espécie apresenta pontoações intravasculares areoladas simples (Figura 5A), com abertura inclusa, e pontuações intervasculares do tipo alternas (Figura 5G). A placa de perfuração do elemento de vaso classifica-se como simples, apresentando única perfuração e pontuações raios vasculares (Figuras 5E e G), tais características foram descritas de acordo com IAWA (1989). De acordo com Burger e Richter (1991), esses caracteres anatômicos influenciam diretamente na densidade básica da madeira a depender da porcentagem presente.

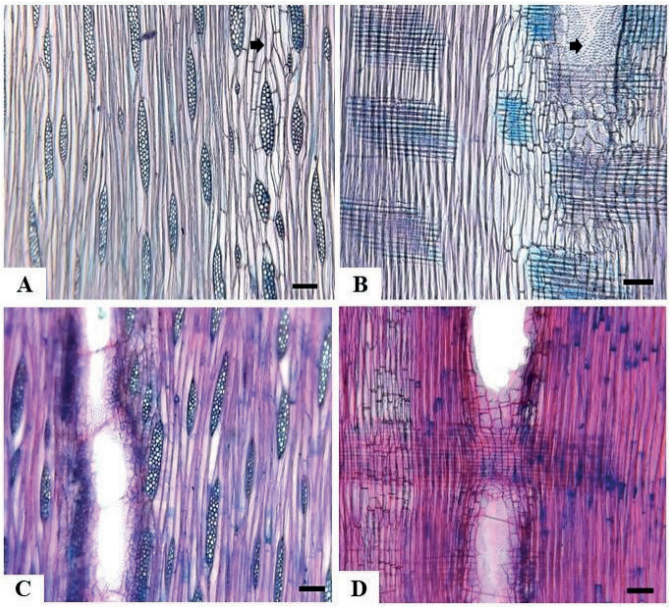


Legenda: PI – Pontoações intervasculares; PF – Placa de perfuração; PRV – Pontoações raios-vasculares; Barra: A-200 μm; B-400 μm; C- 200 μm; D-200 μm; E-200 μm; F-400 μm; G-200 μm; H-200 μm.

Figura 5 **A-H**: Poros e vasos de *Schizolobium amazonicum*. **A, C, E**. Detalhe das pontoações raios-vasculares; **B, D, F, H**. Detalhe do poro germinado; **G**. Detalhe da placa de perfuração simples.

Fonte: Autores (2023).

Em secção tangencial, o parênquima da espécie apresentou raios multisseriados com até três células de largura e vinte células de comprimento (Figura 6A e C). Em secção radial, os raios não estão visíveis, sendo observadas apenas as células que compões os vasos e as pontoações (Figura 6B e D). Raios e vasos apresentam características que determinam a textura da madeira e conseguinte sua empregabilidade no setor madeireiro (Botosso, 2011).



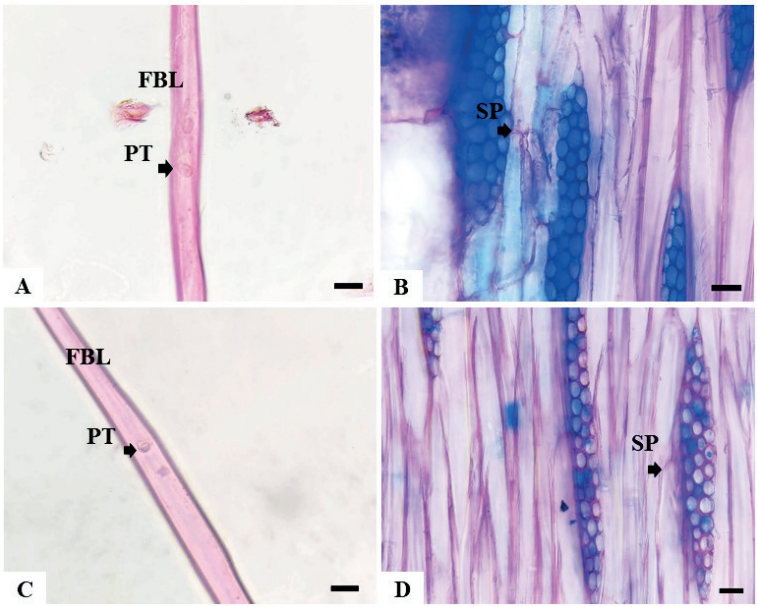
Barra de escala 100μm.

Figura 6 **A-D**: Fotomicrografias dos raios da madeira de *Schizolobium amazonicum*; **A. e C**. Seção tangencial, evidenciando os raios; **B. e D**. Detalhe da placa de perfuração indicada na seta e os vasos em contato com as fibras e placa de perfuração.

Fonte: Autores (2023).

As fibras presentes na espécie, são classificadas como septadas por apresentarem paredes transversais finas, libriformes em virtude da presença de pontoações simples e fibrotraqueides por conta da interrupção da parede secundária (Figura 7B e D). As pontoações simples são conhecidas como areoladas, se diferenciando das demais pelo tamanho das aréolas (Figura 7A e C). Estas fibras possuem uma parede de espessura média e estão limitadas as paredes radiais conforme classificação do IAWA (1989).

A madeira por ser higroscópica apresenta instabilidades dimensional absorvendo e perdendo água do ambiente, inchando e contraindo suas fibras. Madeiras de alta densidade apresentam fibras com paredes mais espessas e maior instabilidade dimensional (Burger; Richter, 1991; Melo, 2013).



Legenda: **FLB** – Fibra libriforme; **PT** – Pontoações; **SP** – Septos; Barra de escala: 50 μm. Fonte: Autores (2023).

Figura 7 **A-D**: Fotomicrografia da seção tangencial mostrando as fibras de *Schizolobium amazonicum*. **A e C**: Detalhe das fibras libriformes e pontoações areaoladas indicadas nas setas; **B e D**: Detalhe das fibras septadas indicadas nas setas.

Em relação a análise quantitativa da madeira, os valores dos parâmetros dos elementos que compõe a madeira de paricá, foram mensurados a partir das fotomicrografias dos poros e raios, descritos na Tabela 1.

	POROS		**RAIOS**		
	Diâmetro (μm)	**Altura** (μm)	**Largura** (μm)	**Altura** (nº c.)	**Largura** (nº c.)
Mínimo	121,8	22,60	13,14	5,00	2,00
Média	246,744	229,35	34,32	18,88	3,12
Máxima	390,7	517,60	55,30	53,00	4,00
Desvio	74,98	97,33	11,38	9,87	0,60

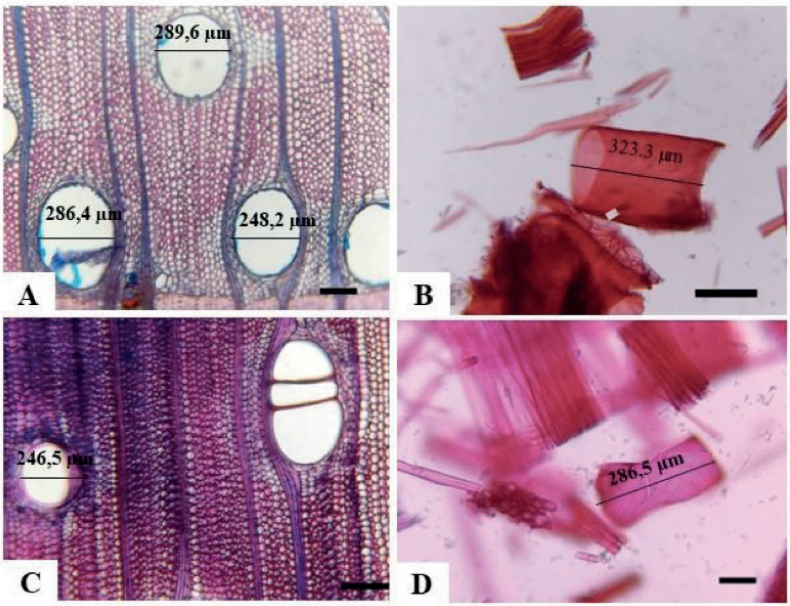
Legenda: n° c- número de células.

Tabela 1: Dados quantitativos dos poros dos vasos e dos raios da madeira de *Schizolobium amazonicum*.

Fonte: Autores (2023).

Os vasos apresentam diâmetro médio de 246,74 μm e podem ser classificados como grande (maior que 200 μm). Vasos com diâmetros grandes mesmo que em menor quantidade pode indicar maior absorção de água e sais minerais decorrentes do ambiente

ao qual a planta está inserida, podendo causar cavitação dos vasos devido a embolias no xilema em decorrência da capilaridade (Metcalfe; Chalk, 1950; Olson *et al.,* 2014).



Barra de escala 100 *µ*m.

Figura 8 **A-D**: Seção tranversal com a mensuração dos vasos. **A e C**: Detalhe do diâmetro tangencial dos vasos; **B e D**: Detalhe do comprimento dos elementos de vasos.

Fonte: Autores (2023).

Os raios de *Schizolobium amazonicum* apresenta largura média de 34,32 *µ*m e altura média de 229,35 *µ*m (Tabela 1). Tais valores diferiram aos encontrados por Oliveira (2021) nas amostras retiradas da região do cerne a 1,30 m analisadas de paricá (29,94 e 242,34 *µ*m) e guauruvu (27,43 e 255,28 *µ*m), o que pode ter relação com a idade das árvores, local de sítio, tipo de solo entre outras.

As fibras apresentaram comprimento médio 1074,69 *µ*m, largura média de 28,50 *µ*m, diâmetro médio do lúmen de 20,8 *µ*m e espessura da parede do lúmen com valor médio de 3,2 *µ*m conforme apresentado na tabela 2. Os valores se aproximam dos valores médios descritos por Da Silva *et al*. (2016), ao descrever a madeira de paricá anatomicamente.

De acordo com IBÁ (2023), espécies de fibra curta possuem 0,5 a dois milímetros de comprimento e podem ser derivadas de eucaliptos são ideais para a produção de papéis como os utilizados nas impressões, na escrita e para higiene geral como papel higiênico, toalhas de papel e guardanapos. Dessa maneira evidenciando uma possível utilidade para a madeira de paricá em virtude do comprimento médio de suas fibras.

Amostras	Comprimento (μm)	Largura (μm)	Diâmetro do lúmen (μm)	Espessura da parede (μm)
Mínimo	302,46	16,50	16,8	2,1
Média	1074,69	28,50	20,8	3,2
Máxima	1628,55	39,00	24,1	4,4
Desvio	339,92	5,70	1,95	0,7

Tabela 2: Resultados médios das dimensões das fibras de *Schizolobium amazonicum*.

Fonte: Autores (2023).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Espécies porosas e com grande quantidade de parênquima axial apresentam menor resistência a esforço mecânico no sentido longitudinal do tronco devido as células do parênquima possuírem a função de armazenamento/reserva de substâncias, paredes finas e menos tolerantes ao emprego de força sobre suas paredes.

Plantas com poros maiores mesmo que em menor quantidade indica uma melhor eficiência no transporte de água e sais minerais, porém possuem maior suscetibilidade a embolia, gerando o entupimento dos vasos do xilema o que pode ser amenizado com a presença de vasos geminados mostrando uma rota alternativa para o transporte ascendente de líquidos no indivíduo arbóreo. A madeira de paricá apresentou fibra menor que dois milímetro de comprimento o que é recomendado para a produção de papel pois apresentam características como menor resistência, alta maciez e boa absorção.

Diante da complexidade da madeira de paricá, cujas propriedades são influenciadas por sua natureza heterogênea e higroscópica, bem como pelas diferentes funções de suas células, torna-se essencial aprofundar os estudos de caracterização desse material. A análise anatômica detalhada do paricá foi de grande relevância na melhor caracterização e identificação da espécie. Esses insights ressaltam a importância de uma compreensão abrangente da madeira, permitindo que seu potencial seja explorado de maneira sustentável.

AGRADECIMENTOS

Os pesquisadores agradecem ao grupo Arboris por gentilmente ter subsidiado as amostras de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby utilizadas neste trabalho, bem como à Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL pelo apoio financeiro para o desenvolvimento deste projeto.

REFERÊNCIAS

BOTOSSO, P. C. 2011. **Identificação macroscópica de madeiras: guia prático e noções básicas para o seu reconhecimento**. Colombo: Embrapa Florestas.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. 1991. **Anatomia da madeira**. Ed. Nobel, ISBN: 8521306695. Disponível em: https://giem.ufsc.br/files/2017/02/Apostila-Estrutura-de-Madeira.pdf.

CORADIN, V. T. R.; MUNIZ, G. I. B. **Normas e procedimentos em estudos de anatomia da madeira: I – Angiospermae, II – Gimnospermae**. Brasília. IBAMA, DIRPED, LPF. 19p. 1992. (Série Técnica, 15).

DA SILVA, M. G.; MORI, F. A.; FERREIRA, G. C.; RIBEIRO, A. O.; CARVALHO, A. G.; BARBOSA, A. C. M. C. 2016. Estudo anatômico e físico da madeira de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* proveniente de povoamentos nativos da Amazônia Oriental. **Sci. For.**, v. 44, n. 110, p. 293-301, 2016.

DOĞU, A. D.; GRABNER, M. 2010. A staining method for determining severity of tension wood. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 34, n. 5, p. 381-392.

FRANKLIN, G. L. 1945. Preparation of thin sections of synthetic resins and wood-resin composites, and a new macerating method for wood. **Nature**, v. 155, p. 51.

FLORA DO BRASIL 2023. **Jardim Botânico do Rio de Janeiro**. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB115&gt>. Acesso em: 22 jul. 2023.

IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores. Disponível em: <https://iba.org/celulose-2>. Acesso em: 24 de jul. 2023.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS. 1989. List of Microscopic Features for Hardwood Identification. **IAWA Bulletin**, v. 10, n. 3, p. 219 – 332.

KRAUS, J. E.; ARDUIN, M. 1997. **Manual básico de métodos em morfologia vegetal**. Rio de Janeiro: Seropédica, EDUR, Rio de Janeiro.

LIMA, P. A. F. L.; SIQUEIRA, B. L.; SETTE JÚNIOR, C. R. 2021. **Qualidade da madeira de eucalipto antes e após o tratamento preservativo para uso como mourões de cerca**. In: EVANGELISTA, W. V. (Ed.). Madeiras Nativas e Plantadas do Brasil: qualidade, pesquisas e atualidades. Guarujá: Ed. Científica, p. 319-339.

MELO, R. R. Estabilidade dimensional de compostos de madeira. 2013. **Ciência da Madeira**, v. 4, n. 2, p. 152-175.

METCALFE, C. R.; CHALK, L. **Anatomy of dicotyledons**. Oxford: Oxford University Press. 1950. 806 p.

NISGOSKI, S.; MUÑIZ, G. I. B.; TRIANOSKI, R.; MATOS, J. L. M.; VENSON, I. 2012. Características anatômicas da madeira e índices de resistência do papel de *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake proveniente de plantio experimental. **Sci. For.**, v. 40, n. 94, p. 203-211.

OLIVEIRA, R. P. 2021. **Estudo comparativo da anatomia e densidade básica da madeira das variedades de *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake em um plantio na Amazônia**. Dissertação. Mestrado em Ciências Florestais, área de concentração Ciências Florestais. Universidade Federal Rural da Amazônia. Belém.

OLSON, M. E.; ANFODILLO, T.; ROSELL, J. A.; PETIT, G.; CRIVELLARO, A.; ISNARD, S.; LÉON-GÓMEZ, C.; L.; ALVARADO-CARDENAS, L.; CASTORENA, M. 2014. Universal hydraulics of the flowering plants: vessel diameter scales with stem length across angiosperm lineages, habits and climates. **Ecology Letters**, v. 17, p. 988-997.

RODRIGUES, B. P. 2010. **Utilização de Parâmetros anatômicos da madeira de dois clones de híbridos naturais de *Eucalyptus grandis* como índices de qualidade para a produção de papel**. TCC. Universidade Federal do Espírito Santo. Departamento de Engenharia Florestal, Jerônimo Monteiro, p. 45.

SOUZA, C. R.; ROSSI, L. M. B.; AZEVEDO, C. P.; VIEIRA, A. H. 2003. **Paricá**: *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber x Ducke) Barneby. Embrapa: Colombo, 12p. (Circular Técnica 18).

TURCHETTO-ZOLET, A. C; CRUZ, F; VENDRAMIN, G. G; SIMON, M. F; SALGUEIRO, F; MARGIS, R; MARGIS-PINHEIRO, M. 2012. Large-scale phylogeography of the disjunct neotropical tree species *Schizolobium parahyba* (Fabaceae Caesalpinioideae). **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v. 65, p. 174–182.

CARACTERIZAÇÃO DO "ESTADO DE ARTE" DA ESPÉCIE VEGETAL *GALLESIA INTEGRIFOLIA* (SPRENG). HARMS

Data de aceite: 01/09/2023

Derek Klinger Buás Pinto
Mestrando em Saúde e Ambiente pela Universidade Federal do Maranhão
São Luís/Maranhão
https://orcid.org/0000-0001-5022-537X

Bruno Luiz de Paula Pereira
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, Centro de Ciências da Saúde, Curso de Medicina
Imperatriz/Maranhão
https://orcid.org/0009-0001-6074-5819

Déborah Belo Paz Pinheiro
Mestranda em Saúde e Ambiente pela Universidade Federal do Maranhão
São Luís/Maranhão
https://orcid.org/0000-0002-4918-124X

João Guilherme Nantes Araújo
Mestrando em Biologia Microbiana pela Universidade Ceuma
São Luís/Maranhão
https://orcid.org/0000-0002-2430-1081

Ludmylla Fernanda Almeida Pereira
Mestra em Saúde e Ambiente pela Universidade Federal do Maranhão
São Luís/Maranhão
https://orcid.org/0000-0002-8368-0763

Sheila Elke Araújo Nunes
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
Imperatriz/Maranhão
https://orcid.org/0000-0002-2309-7314

José Fábio França Orlanda
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnológicas
Imperatriz/Maranhão
https://orcid.org/0000-0002-6402-6192

Wellyson da Cunha Araújo Firmo
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, Centro de Ciências da Saúde
Imperatriz/Maranhão
https://orcid.org/0000-0002-6979-1184

RESUMO: O Brasil é um país de proporções continentais, de uma cultura diversificada e de riquezas naturais abundantes, incluindo uma flora variada e uma larga aplicação de conhecimento tradicionais acerca do manejo e utilização de plantas medicinais. Estas consistem em recursos da biodiversidade explorados desde a formação da civilização. O objetivo deste artigo foi realizar um estudo da arte da espécie vegetal *Gallesia integrifolia* (Spreng). Harms, popularmente conhecida como "pau d´alho", "guararema", "ubaeté",

frequentemente empregada tradicionalmente com inúmeros fins medicinais. Analisou-se artigos, livros digitais, dissertações e teses publicados nacional e internacionalmente, abordando aspectos botânicos, ecológicos, químicos e farmacológicos da planta, em bases de dados renomadas, selecionando-se 38 documentos para o presente trabalho. Percebe-se, dessa forma, além da importância da etnofarmacologia no incentivo de pesquisas científicas a fim de comprovar a autenticidade do uso de plantas medicinais, a escassez de estudos envolvendo a *G. integrifólia* ainda que seu uso tradicional como planta medicinal seja frequente em várias comunidades tradicionais e com várias aplicações diferentes, frações diferentes da planta apresentando diversas substâncias ativas, o que demonstra o seu potencial farmacológico.
PALAVRAS-CHAVE: Biotecnologia. Cerrado. Guararema. Plantas Medicinais.

CHARACTERIZATION OF THE "STATE OF THE ART" OF THE PLANT SPECIES *GALLESIA INTEGRIFOLIA* (SPRENG). HARMS

ABSTRACT: Brazil is a country of continental proportions, with a diversified culture and abundant natural resources, including a varied flora and a wide application of traditional knowledge about the management and use of medicinal plants. These consist of biodiversity resources exploited since the formation of civilization. The objective of this article was to carry out a study of the art of the plant species *Gallesia integrifolia* (Spreng). Harms, popularly known as "pau d'alho", "guararema", "ubaeté", often used traditionally with numerous medicinal purposes. Articles, digital books, dissertations, and theses published nationally and internationally were analyzed, addressing botanical, ecological, chemical and pharmacological aspects of the plant, in renowned databases, selecting 38 documents for the present work. In this way, in addition to the importance of ethnopharmacology in encouraging scientific research to prove the authenticity of the use of medicinal plants, the scarcity of studies involving *G. integrifolia,* even though its traditional use as a medicinal plant is frequent in several traditional communities and with several different applications, different fractions of the plant presenting different active substances, which demonstrates the pharmacological potential of this plant.
KEYWORDS: Biotechnology. Cerrado. Guararema. Medicinal Plants.

1 | INTRODUÇÃO

O Brasil compreende o maior contingente de biodiversidade do mundo, cerca de 15% a 20%. Tal biodiversidade abrange ainda a flora, que trata-se da matéria-prima na produção de fitoterápicos e outros medicamentos. Semelhantemente, o país detém larga pluralidade étnica e cultural, dentre as quais destaca-se o rico acervo de conhecimentos sobre o uso e manejo de plantas medicinais (Brasil, 2016).

A funcionalidade de plantas com fins medicinais é antiga e perdura-se ao decorrer da história, especialmente entre os idosos. A etnobotânica visa estudar a relação entre homem e planta, resgatando os saberes tradicionais transmitidos entre as gerações. Ao que diz respeito às populações desfavorecidas economicamente o acesso aos serviços de saúde e medicamentos industrializados podem não acontecer com frequência. Consequentemente, a procura por plantas medicinais só aumenta devido sua fácil obtenção e senso comum

como seguras e benéficas (Santana *et al.*, 2014). Entretanto, no meio científico é bastante limitado o conhecimento acerca da segurança e confiabilidade do uso da maioria das plantas medicinais (Firmo *et al.*, 2011).

Planta medicinal conceitua-se como "a espécie vegetal, cultivada ou não, utilizada com propósitos terapêuticos" (Brasil, 2011). As plantas integram um rico arsenal de produtos químicos, orgânicos e inorgânicos, com diversos potenciais para exploração pelo homem. Regularmente são empregadas como terapia complementar a tratamentos instituídos, por influência de práticas milenares ou por indicação de familiares e/ou pessoas próximas ao longo de gerações (Pedroso; Andrade; Pires, 2021).

No Brasil, a Política Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos, criada em 2006, e o Programa Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos, em 2008, objetivam "garantir à população brasileira o acesso seguro e o uso racional de plantas medicinais e fitoterápicos e promover o uso sustentável da biodiversidade, o desenvolvimento da cadeia produtiva e da indústria nacional" (Brasil, 2016). Além disso, a Política Nacional de Práticas Integrativas e Complementares no Sistema Único de Saúde (SUS), aprovada pelo Ministério da Saúde, contempla, dentre outras, a área de plantas medicinais e fitoterapia para o tratamento de agravos à saúde (Brasil, 2006). Isso tem contribuído para o crescimento da prática terapêutica fitoterápica no país (Brasil, 2016).

Por meio da investigação científica de agentes biologicamente ativos, usados na medicina popular, a etnofarmacologia vem documentando e avaliando os agentes medicinais adotados em práticas tradicionais. Para isso, a informação coletada junto à população a respeito do uso de plantas medicinais é de fundamental importância (Pasa, 2007). O Brasil detém um valioso conhecimento tradicional associado ao uso de plantas medicinais e tem o potencial necessário para desenvolvimento de pesquisas que resultem em tecnologias e terapêuticas apropriadas (Brasil, 2000) e na descoberta de novas drogas derivadas diretamente ou sintetizadas a partir de recursos biológicos (Brito, 2010). Contudo, somente 8% da flora brasileira foi estudada a procura de compostos bioativos e uma fração mínima destas espécies passaram por avaliação em busca de suas propriedades medicinais, o que demonstra o latente potencial para pesquisa deste país (Pinto *et al.*, 2002).

Neste contexto encontra-se a planta em estudo, *Gallesia integrifolia* (Spreng). Harms, trata-se de uma espécie arbórea vulgarmente denominada de pau-d'alho, devido ao forte cheiro de alho por ela emitido, sendo utilizada na medicina popular para preparação de chás, no tratamento de gripe, tosse, pneumonia, verminoses, gonorreia, tumores de próstata e reumatismo (Lorenzi, 2002). Consiste em uma espécie largamente presente na Mata Atlântica, desde o nordeste ao sudeste e no Brasil Central, em florestas secundárias, mata ciliar, cerrado e nas áreas cultivadas com cacaueiro no sul da Bahia (Sambuichi, 2009).

Devido ao alto potencial de *G. integrifolia* possuir atividade farmacológica, este trabalho apresenta uma revisão crítica do estado da arte. O "estado da arte" trata-se de

um acervo de caráter bibliográfico, a fim de mapear e discutir a produção acadêmica sobre determinado tema ou objeto de estudo composto de dissertações de mestrados, teses de doutorados, publicações em periódicos e comunicações em anais de congressos e de seminários, destacados e privilegiados em diferentes épocas e lugares (Ferreira, 2002).

Esta revisão foi baseada em estudos científicos pesquisados em várias bases de dados online renomadas disponíveis como*: Scielo, Web of Science, PubMed, Google Scholar e Science Direct*. As palavras-chave utilizadas no levantamento bibliográfico consistiram em "bioprospecção", "atividade biológica", "*Gallesia integrifolia*", "pau d´alho" e "fitoquímica", que estiveram presentes em o título e/ou resumo. Os critérios de inclusão foram livros digitais, artigos, dissertações e teses acerca dos aspectos botânicos e ecológicos, da atividade biológica, perfil fitoquímico e bioprospecção da *G. integrifolia* e seus compostos. Foram excluídos da pesquisa bibliográfica os trabalhos que trataram de outras espécies de plantas medicinais, ou que não acrescentaram novas informações.

2 | HISTÓRICO, IDENTIFICAÇÃO, PAPEL CULTURAL E ECOLÓGICO

Ainda que tenha havido algumas variações quanto a nomenclatura científica desta espécie, de acordo com o Código Internacional de nomenclatura Botânica, deve prevalecer o nome da *Gallesia integrifolia* (Spreng). Harms. (Parkinson, 1975). Suas sinonímias são: *Crateva gorarema* Vell., *Gallesia gorazema* (Vell. Conc.) Moquin, *Gallesia gorazema* (Vell.) Moq., *Gallesia ovata* O.C. Schmidt, *Gallesia scorododendrum* Casar, *Thouinia intergrifolia* Spreng e G. *intergrifolia* var. ovata (OC Schmidt) Nowicke pertencem à família Phytolaccaceae (GBIF, 2017).

Segundo Akisue, Akisue e Oliveira (1986) sua primeira descrição foi realizada por Sprengel em 1821 com a denominação *Thouinia integrifolia* Spreng. De acordo com a etimologia, *Gallesia* homenageia Giorgio Gallesio, botânico e pesquisador da Itália do século XVIII, quem classificou a espécie e a inseriu nesse gênero; já *integrifolia* (epíteto específico) quer dizer folha inteira. Um dos seus termos no idioma indígena Tupi, é ibirarema, que significa "árvore ruim", devido ao forte cheiro de alho exalado pela planta (Carvalho, 2006).

Pertencente à família Phytolaccaceae, que possui cerca de 13 gêneros e 60 espécies espalhadas largamente na região tropical, com representantes nas Américas Tropical e Subtropical, na África e na Ásia Oriental. Certos gêneros dessa família, salienta-se o *Gallesia* Casar, limitam-se à região da América do Sul, compreendendo Bolívia, Brasil, Equador e Peru (Steinmann, 2010). A *G. integrifólia* é a única representante do seu gênero, como espécie nativa do Brasil com ocorrências confirmadas em quatro domínios fitogeográficos: Cerrado, Caatinga, Amazônia e Mata Atlântica (Marchioretto, 2015).

A *G. integrifolia* consiste em uma espécie com larga distribuição na Amazônia, Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica, tradicionalmente chamada de "Pau-d'alho" ou "Planta

de alho" e "Pau de mau cheiro", devido ao forte aroma de alho peculiar a todas as partes da planta, bem como pelos termos indígenas: "Gorarema", "Guararema", "Ubaeté", "Ibararema" e "Ubirarema" (Akisue; Akisue; Oliveira, 1986; Bussmann et al., 2011). Conforme Carvalho (1994), as plantas pertencentes a essa espécie são consideradas heliófitas e podendo alcançar uma altura de 5 a 20 metros.

Demonstra larga distribuição natural em território nacional, com maior frequência nas florestas pluviais atlânticas e florestas estacionais semideciduais desde o Ceará (latitude 04º S) até o Paraná (latitude 25º 30' S). Em densidades mais baixas é representada no Centro-Oeste, -na Amazônia (Lorenzi, 2002; Carvalho, 2006; Machioretto, 2012) e no Peru, onde é denominada de "*Ajoskiro"* e "*Palo de ajo"* (Bussmann, 2011).

Há ocorrência da *G. integrifolia* em formações florestais do complexo atlântico, em múltiplos estados brasileiros, tendo preferência por terrenos profundos, úmidos e de alta fertilidade, reconhecido como modelo de terra de boa qualidade (Rodrigues *et al*., 2016). Graças à larga distribuição geográfica, incluindo ambientes com características edafoclimáticas diversas, as árvores demonstram alturas que vão de 5 a 30 m, e diâmetro a altura do peito (DAP) que vão de 70 a 140 cm. É reconhecido como uma espécie de crescimento rápido, com tronco retilíneo e casca compacta, o odor característico de alho da madeira esvai-se após secar, tornando-se durável (Lorenzi, 2002; Carvalho, 2006), e que no comércio internacional recebe a denominação "*Garlic Wood*" (Longui *et al*., 2010).

G. integrifolia apresenta hábito arbóreo de grande porte, com 15 a 30 m de altura e 70 a 140 cm de diâmetro do tronco, floresce desde Fevereiro até Abril, possuindo frutos que amadurecem entre Setembro e Outubro, tempo em que desenvolvem coloração parda, e cada sâmara possui uma semente. O fruto tipo sâmara mede de 2 a 3 cm e demonstra estrutura física semelhante a uma asa, apresenta coloração inicialmente esverdeada, modificando-se para parda durante o amadurecimento. É praticamente impossível separar a semente do fruto (Lorenzi, 2002) e, para facilitar o armazenamento e a semeadura, a expansão alada da sâmara deve ser cortada (Durigan *et al*., 1997).

A fração alada do fruto contribui com sua semeadura devido facilitação do transporte da semente por meio do vento, denominando sua dispersão de sementes como anemocórica. Carvalho (1994) reconhece em seu estudo que a *G. integrifolia* não produz sementes anualmente, já que o processo reprodutivo começa entre 10 e 20 anos de idade. De acordo com Carvalho e Nakagawa (2012), durante o processo de germinação de sementes secas, a água transforma-se em fator determinante, uma vez que através dela ocorre a reidratação dos tecidos, intensificando o processo respiratório e metabólico, sucedendo no seu desenvolvimento embrionário. Suas folhas são brilhantes e elípticas, sem pêlos, medindo de 10 a 16 cm de comprimento e 7 cm de largura (Marchioretto, 2015).

A madeira, previamente pouco explorada, vem substituindo eficazmente o uso da *Araucaria angustifolia* e *Pinnus* sp., na confecção de forros e revestimentos. É moderadamente pesada, dura ao corte e não apresenta acabamento uniforme, característica

que faz com que seja suscetível ao ataque de organismos xilófagos. Mesmo assim, seu uso é indicado na construção civil, confecção de barcos, caixotaria, prestando-se também para a produção de celulose e papel (Mainieri; Chimelo, 1989; Lorenzi, 2002; Carvalho, 2006). Semelhantemente com o Pau-brasil, por ser historicamente marcante na definição do nome do país: Brasil, a *G. integrifolia*, com a denominação tradicional de pau d´alho, marca diretamente a história do município de Paudalho-PE, por estar presente abundantemente à margem do Rio Capibaribe, que percorre a cidade (Vasconcelos, 2020).

Ainda no paisagismo, esta planta é utilizada na arborização rural (Lorenzi, 2002), bem como em programas de reflorestamento e recuperação de áreas degradadas (Silva; Oliveira, 1997), graças a intensa produção de frutos anemocóricos e interação com a avifauna, características que auxiliam a regeneração natural (Barbosa; Pizo, 2006).

3 | USO TRADICIONAL

Há relatos da utilização da *G. integrifolia*, na medicina popular, no tratamento externo de otite, verminoses, gonorreia, reumatismo, em combate a tumores da próstata citados por Akisue, Akisue e Oliveira (1986). Carneiro (2009) relatou estudos etnobotânicos da utilização desta espécie no caso de dores nas pernas, já as folhas e caule são indicados como hipotensores e redutores da taxa de colesterol, segundo Feijó (2008).

De acordo com estudos demonstrados por Anwar et al. (2008), substâncias naturais contendo enxofre (característica de plantas aromáticas como a *G. integrifolia*) frequentemente possuem inúmeras atividades biológicas, entre elas propriedades antioxidante, antimicrobiana e citotóxica contra certas células cancerígenas.

O que condiz com os relatos de uso na medicina tradicional na forma de chás obtidos de suas folhas e cascas, com fins terapêuticos para tosse e afecções da pele (Muñoz *et al*., 2000), infecções da garganta (Carneiro *et al*., 2014), diarreia, asma, antirreumatismo, antiespasmódico, infecções helmínticas, anti-hemorrágico, como agente febrífugo (Bourdy *et al*., 2000, Barbosa et al., 1997) e em condições inflamatórias (Agra *et al*., 2008, Bieski *et al*., 2015).

Através de descrições etnofarmacológicas, a *G. integrifolia* ainda é aplicada contra infecções respiratórias, cutâneas (Bussmann *et al.,* 2011; Bottazzi *et al*., 2013) e amigdalites (Carneiro et al., 2014). Comunidades quilombolas e assentamentos rurais na região norte do estado do Rio de Janeiro no Brasil relatam seu uso a fim de tratar gripe, bronquite, inflamações, distúrbios de memória, micoses e como sedativo (Neves, 2012).

Em outros países pertencentes à América Latina, são utilizadas preparações de partes diversas da planta no tratamento de infecções (bacterianas e fúngicas), manejo de abscessos por múltiplos grupos étnicos na bacia amazônica (Akisue *et al*., 1986; Balbach, 1992; Duke, 2009), anti-inflamatória, antiviral (Silva Júnior *et al*., 2013).

As inúmeras aplicações da *G. integrifolia* podem ser observadas com mais detalhes no Quadro 1.

APLICAÇÃO POPULAR	PARTE DA PLANTA	MODO DE USO	FONTES
Inflamação na garganta	Casca	Chá	Bieski et al. (2015); Carneiro et al. (2014); Botazzi et al. (2013); Bussmann et al. (2011); Agra et al. (2008); Freise (1933); Oliveira (1905).
Inflamação na garganta	Folha	Cataplasma	Bieski et al. (2015); Carneiro et al. (2014); Botazzi et al. (2013); Silva Júnior et al. (2013); Bussmann et al. (2011); Agra et al. (2008); Freise (1933).
Otite	Folha, raízes e casca	Cataplasma	Bieski et al. (2015); Silva Júnior et al. (2013); Agra et al. (2008); Akisue, Akisue, Oliveira (1933); Freise (1933); Marticus (1843).
Tosse	Folha e casca	Chá	Carneiro et al. (2014); Muñoz et al. (2000).
Afecções da pele	Folha e casca	Chá e Cataplasma	Bussmann et al. (2014); Carneiro et al. (2014); Bottazzi et al. (2013); Bussmann et al. (2011); Muñoz et al. (2000).
Diarreia	Folha e casca	Chá	Carneiro et al. (2014); Muñoz et al. (2000).
Reumatismo	Folha e casca	Chá e Cataplasma	Bieski et al. (2015); Carneiro et al. (2014); Silva Júnior et al. (2013); Agra et al. (2008); Bourdy et al. (2000); Muñoz et al. (2000); Barbosa et al. (1997); Marticus (1843).
Cólicas	Folha e casca	Chá e Cataplasma	Bieski et al. (2015); Carneiro et al. (2014); Agra et al. (2008); Muñoz et al. (2000); Marticus (1843).
Hemorragias	Folha e casca	Chá	Carneiro et al. (2014); Bourdy et al. (2000); Muñoz et al. (2000); Barbosa et al. (1997).
Verminoses	Folha e casca	Chá	Carneiro et al. (2014); Bourdy et al. (2000); Muñoz et al. (2000); Barbosa et al. (1997).
Febre	Folha e casca	Chá e Cataplasma	Carneiro et al. (2014); Bourdy et al. (2000); Muñoz et al. (2000); Barbosa et al. (1997); Marticus (1843).
Infecções respiratórias	Não especificada	Não especificada	Bussmann et al. (2014); Bottazzi et al. (2013); Bussmann et al. (2011).

Viroses	Folha e casca	Chá	Carneiro et al. (2014); Silva Júnior et al. (2013); Akisue, Akisue e Oliveira (1933).
Câncer	Não especificada	Não especificada	Akisue, Akisue e Oliveira (1933); Freise (1933); Marticus (1843).
Abcessos	Não especificada	Não especificada	Duke (2009); Balbach (1992); Akisue, Akisue e Oliveira (1986); Akisue, Akisue e Oliveira (1933);
"Doenças nas Genitálias" - Infecções Sexualmente Transmissíveis	Não especificada	Não especificada	Akisue, Akisue e Oliveira (1933); Freise (1933); Oliveira (1905); Marticus (1843).

Quadro 1. Uso tradicional da *Gallesia integrifolia* como planta medicinal.

Fonte: Autores (2023)

4 I FITOQUÍMICA

Testes fitoquímicos com as folhas e madeira da espécie revelaram a presença de esteroides e terpenoides nas folhas, e de alcaloides tanto na madeira quanto nas folhas (Vasconcelos, 2011). Várias classes de fitoquímicos de diferentes partes de *G. integrifolia* foram relatados, incluindo terpenos, porfirinas, álcoois ramificados, fenois, cetonas e substâncias naturais contendo enxofre. No óleo essencial foram relatados compostos de enxofre nas folhas, flores e frutos (Ordoñez *et al*., 2006).

Nas frutas os principais compostos foram 2,3,5-tritiahexano, 6-ditiaoctan-1,8-diol, Metanotiol (Raimundo *et al.,* 2017), 2,8-Ditiananona, trissulfeto de dimetilo e Lentionina com potencial antimicrobiano (Raimundo *et al*., 2018).

Para o extrato bruto dos frutos também, os principais compostos foram enxofre (9,11%) como 2,4-ditiapentano (2,26%), 2 1,2,4-tritiolano (1,87%) e 2,3,5-tritiahexano (4,98%). Os extratos e óleo essencial de *G. integrifolia* são relatados como larvicida, antifúngica, acaricida, antiúlcera, antinociceptiva, anti-inflamatória e antiviral (Silva Junior et al., 2013; Arunachalam *et al*., 2017; Raimundo *et al.,* 2017; Raimundo *et al*., 2018).

Pode-se observar mais atentamente quais as principais substâncias químicas encontradas em diversas partes da *G. integrifolia* (Quadro 2).

PARTE DA PLANTA	SUSBTÂNCIAS	FONTES
Casca	2-metil- 1-propanol; 1,4-benzenodiol; 3-metil-1-butanol; 2-metil-1-butanol; 1,2,4-tritiolano; 1,2,4,5-tetratiano; 4'-hidroxi-3'-metilacetofenona; S-metil metanotiosulfonato; dimetil trissulfeto; dimetil tetrassulfeto; S-metil tiometanosulfonato; metil (metilsulfonil) metil sulfeto; 2,3-diidro-3,5-dihidroxi-6-metil-4- pirona; metil (metilsulfinil) metil dissulfito; metil (metiltio) metil dissulfeto; bis (metiltiometil) dissulfeto; bis (metildissulfeto) metano; metiltiometil (metilsulfonil) metil dissulfeto; dissulfeto, (metilsulfonil) metil (metiltio) metil; metil (metiltio) metil trissulfeto (99); dissulfeto, (metilditio) metil (metiltio) metil; dissulfeto, (etilditio) metil; 2,3,5,7-tetratiaoctano; dissulfeto, bis[(metilsulfinil)metil].	Chagas et al. (2020); Veliz Lopez (2013); Feijó et al. (2009); Barbosa (1999); Akisue, Akisue e Oliveira (1986).
Folha	p-hidroquinona; 4'-hidroxi-3'-metilacetofenona; metanotiosulfonato de metila; dissulfeto de metil (metilsulfonil) metil; 3-oxo-α-ionol; α-tocoferol; 7c-metoxifeoforbídeo; 7c-metoxi-10-hidroxifeoforbídeo; α-amirina; β-amirina; hexaprenol; 15-hidroxi-13-clerodeno.	Chagas et al. (2020); Neves, (2012); Feijó et al. (2009); Barbosa et al. (1997); Akisue, Akisue e Oliveira, (1986).
Óleo essencial	dimetilsulfona; metil-metano-tiossulfonato; 1-metilsulfonil-2,3-ditiabutano; 2,3,5-tritiahexano; 2,4,5,7,9-pentatiadecano; 2,3,4,6-tetratiaheptano; 2,3,4,6,8-pentatianonano; 2,4,5,7-tetratiaoctano; isofitol; 2,4-ditiapentano; canfeno; mirceno; careno; dimetil-Dissulfeto; α-Terpineno; limoneno; sulfeto de metil (metilsulfinil) metil (FAMSO); ácido 11,13-di-hidroxi-tetradec-5-inoico, éster metílico.	Chagas et al. (2020); Raimundo et al. (2018); Feijó et al. (2009); Barbosa (1999); Barbosa et al. (1997).

Quadro 2. Substâncias encontradas na *Gallesia integrifolia.*

Fonte: Autores (2023).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cultura do uso de plantas medicinais por inúmeras comunidades tradicionais da população no tratamento dos mais variados quadros patológicos retém a característica etnofarmacológica, que embasa as pesquisas, a fim de comprová-las cientificamente. A planta *G. integrifolia* popularmente conhecida como "pau d´alho", é largamente utilizada pela população e várias de suas propriedades farmacológicas já foram testadas e comprovadas cientificamente, como observado em consideráveis publicações científicas, através deste estudo da arte, enfatizando a importância da associação entre saberes empíricos e científicos. No entanto é claro que o acervo científico carece de estudos de vários aspectos, como etnobotânica, testes de eficácia e segurança para o uso confiável, testes com patógenos específicos e com compostos variados da planta, objetivando aumentar o acervo de informações sobre a *G. intergrifolia*.

REFERÊNCIAS

AKISUE, M.K.; AKISUE, G.; OLIVEIRA, F. Caracterização farmacognóstica de pau d'alho: *Gallesia intregrifolia* (Spreng.) Harms. **Revista brasileira de farmacognosia,** v. 1, n. 2, p. 166-182, 1986.

AGRA, M.D.F., et al. Survey of medicinal plants used in the region Northeast of Brazil. **Revista brasileira de farmacognosia**, v. 18, n. 3, p. 472-508, 2008.

ANWAR, A., et al. Naturally occuring reactive súlfur species, their activity against Caco-2 cells, and possible modes of biochemical action. **Journal of Sulfur Chemistry**, v. 29, p. 251-268, 2008.

ARUNACHALAM, K., et al. Chemical characterization, toxicology and mechanism of gastric antiulcer action of essential oil from *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms in the in vitro and in vivo experimental models. **Biomed Pharmacother,** v.94, p.292-306, 2017.

BALBACH, A. **Plantas que curam.** 2. ed., Editora Missionária, São Paulo, Brasil, 1992.

BARBOSA, L.C.A., et al**. Vitamina E e outros constituintes químicos das folhas de** *Gallesia gorazema*. **Fitoterapia,** p.515-519, 1997.

BARBOSA, K.C.; PIZO, M.A. Seed rain and seed limitation in a planted gallery forest in Brazil. **Restoration Ecology.** v. 14, p.504-515, 2006.

BIESKI, I.G.C., et al. Ethnobotanical study of medicinal plants by population of valley of Juruena region, legal Amazon, Mato Grosso, Brazil. **Journal of ethnopharmacology**, v.173, p.383-423, 2015.

BOTTAZZI, P., et al. Productive diversification and sustainable use of complex social-ecological systems: a comparative study of indigenous and settler communities. **Agroecol. Sustain. Food Syst**. v. 38, p. 137-164, 2013.

BOURDY, G., et al. Medicinal plants uses of the Tacana, an Amazonian Bolivian ethnic group. **Journal of ethnopharmacology**, v. 70, n. 2, p. 87-109, 2000.

BRASIL. Ministério da Saúde, Secretaria de Políticas de Saúde. Departamento de Atenção Básica. **A implantação da Unidade de Saúde da Família.** Brasília, 2000.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Básica. **Política Nacional de Práticas Integrativas e Complementares no SUS - PNPIC-SUS /** Ministério da Saúde, Secretaria de Atenção à Saúde, Departamento de Atenção Básica. Brasília: Ministério da Saúde, 2006.

BRASIL. Ministério da Saúde. ANVISA. **Formulário de Fitoterápicos da Farmacopeia Brasileira.** Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Brasília: Anvisa, 2011. 126p.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Política e Programa Nacional de Plantas Medicinais e Fitotrápicos.** Brasília: Ministério da Saúde, 2016. 190p.

BRITO, S.C.D. **Os efeitos do marco regulatório sobre a competitividade da cadeia produtiva de medicamentos fitoterápicos no Brasil.** 2010. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Agronegócio) - Universidade Federal de Tocantins, Palmas. 2010.

BUSSMANN, R.W., et al. Proving that traditional knowledge works: the antibacterial activity of northern Peruvian medicinal plants. **Ethnobot. Res. Appl**., v.9, p.67-98, 2011.

CARNEIRO, M.R.B. **A flora medicinal no Centro Oeste do Brasil: um estudo de caso com abordagem Etnobotânica em Campo Limpo de Goiás**. 2009. 240f. Dissertação (Mestrado em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente) – Centro Universitário de Anápolis, Anápolis, 2009.

CARNEIRO, F.M., et al. Tendências dos estudos com plantas medicinais. **Rev. Sapiência: Soc. Saber. Prát. Educ.** v.3, p. 44-75, 2014.

CARVALHO, N.M. **Espécies florestais brasileiras:** recomendações silviculturais, potencialidade e uso da madeira. Colombo: EMBRAPA-CNPF. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 1994.

CARVALHO, P.E.R. **Espécies Arbóreas Brasileiras.** Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica: Colombo: Embrapa Florestas, v. 2, 2006, 627p.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção.** 5 ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012. 588p.

DUKE, J.A. **Duke's handbook of medicinal plants of Latin America**. CRC press, 2008.

DURIGAN, G., et al. **Sementes e mudas de árvores tropicais.** São Paulo: Instituto Florestal, 1997. 65 p.

FEIJÓ, N.S.A. **Crescimento e comportamento fotossintético de *Gallesia integrifólia* (Spreng.) Harms e *Schinus terebinthifolius* Raddi sob condições de sombra densa.** 2008. 46 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual de Santa Cruz, Bahia, 2008.

FERREIRA, N. S. de A. As pesquisas denominadas" estado da arte". **Educação & sociedade**, v. 23, n. 79, p. 257-272, 2002.

FIRMO, W.C.A., et al. Contexto histórico, uso popular e concepção científica sobre plantas medicinais. **Cadernos de Pesquisa**, São Luís, 2012.

FREISE, F.W. 1933 — Plantas medicinais brasileiras. **In Boletim da Agricultura**, São Paulo, 34 (único) 265-6.

GBIF. **Global Biodiversity Information Facility;** 2017. Disponível em: <http://www.gbif.org>. Acesso em: 15 maio 2022.

LONGUI, E.L., et al. Efeito da procedência em algumas propriedades da madeira de *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms. **Revista do Instituto Florestal**, 2010.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras:** Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil, 4ed. Instituto Plantarum de Estudos da Flora Ltda, Nova Odessa. 2002. 384p.

MAINIERI, C.; CHIMELO, J.P. Fichas de características das madeiras brasileiras. **São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas,** 1989, 418p.

MARCHIORETTO, M.S. **Phytolaccaceae in Lista de Espécies da Flora do Brasil.** Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2015.

MARTIUS, C.F.F. DE. **Sistema Materiae Medicae Vegetabilis Brasiliensis**. Lipise, Frid e Fleischer. 1843.

MUÑOZ, V., et al. A search for natural bioactive compounds in Bolivia through a multidisciplinary approach: Part I. Evaluation of the antimalarial activity of plants used by the Chacobo Indians. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 69, n. 2, p. 127-137, 2000.

NEVES, F.S. **Estudo químico e microbiológico de Gallesia integrifolia (Spreng) Harms. (Phytolaccaceae).** 123 f. Dissertacão (Mestrado em Ciências Naturais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos do Goytacazes, 2012.

OLIVEIRA. F.C.M. **Estudos de Matéria Médica de Origem Vegetal**. São Paulo, Salesiana**,**1905.

ORDÓÑEZ VIVANCO, P.; VEGA ESPARZA, M.; MALAGÓN AVILÉS, O. Phytochemical study of native plant species used in traditional medicine in Loja Province. **Lyonia, v. 10**, p. 65-71, 2006.

PARKINSON, P. The International Code of Botanical Nomenclature: an historical review and bibliography. **Tane**, v. 21, p. 153-173, 1975.

PASA, M.C. **Um olhar etnobotânico sobre as comunidades do Bambá, Cuiabá-MT**. Cuiabá: Entrelinhas, 2007.

PEDROSO, R.S.; ANDRADE, G.; PIRES, R.H. Plantas medicinais: uma abordagem sobre o uso seguro e racional. **Physis: Revista de Saúde Coletiva**, v. 31, 2021.

PINTO, A. C., et al. Produtos naturais: atualidade, desafios e perspectivas. **Quim. Nova**, v. 25, n. Supl 1, p. 45-61, 2002.

RAIMUNDO, K.F., et al. Chemical composition of garlic wood (*Gallesia integrifolia*) (Phytolaccaceae) volatile compounds and their activity on cattle tick. **Aust J Crop Sci.** v.11, n.08, p.1058-1067, 2017.

RAIMUNDO, K.F., et al. Antifungal activity of *Gallesia integrifolia* fruit essential oil. **Braz J Microbiol**. v.49, n.1, p.229–235, 2018.

RODRIGUES, D.R., et al. Estrutura de Altura e Distribuição Espacial de Cinco Espécies Arbóreas em Dois Fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual Com Diferentes Históricos de Conservação. **Revista Árvore**, v. 40, p. 395-405, 2016.

SAMBUICHI, R.H.R. **Lista de árvores nativas do sul da Bahia.** In: SAMBUICHI, R.H.R; MIELKE, M.S; PEREIRA, C.E. (Eds.) Nossas árvores: conservação, uso e manejo de árvores nativas do sul da Bahia. 1. Ed. Ilhéus: Editus, 2009. p.171-257.

SANTANA, S.R., et al. Uso medicinal do óleo de copaíba (*Copaifera* sp.) por pessoas da melhor idade no município de Presidente Médici, Rondônia, Brasil. **Acta Agronomica,** v.63, n.4, p.361-366, 2014.

SILVA, E.R.; OLIVEIRA, L.M.Q. Aspectos do comportamento germinativo das sementes de pau-d´alho (*Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms) - Phytolaccaceae. **Informativo ABRATES, Brasília**, v.7, n.1/2, p.234, 1997.

SILVA JÚNIOR, A., et al. **Manual de Plantas Medicinais da América Latina do Duke**. CRC Press, Taylor & Francis Group, 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300 Boca Raton, FL. 2009.

SILVA JUNIOR, A.J., et al. Chemical composition and antinociceptive, anti-inflammatory and antiviral activities of *Gallesia gorazema* (Phytolaccaceae), a potential candidate for novel anti-herpetic phytomedicines. **J Ethnopharmacol.** v.150, n.2, p.595-600, 2013.

STEINMANN, V.W., et al. **Neotropikey - chaves interativas e recursos de informação para plantas de florescência do Neotropico.** In: Neotropical Phytolaccaceae. 2010.

VASCONCELOS, S.K.G. **Proposta de ensino interdisciplinar a partir da *Gallesia integrifolia* (pau d'alho).** 2020. 153f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2020.

CAPÍTULO 5

DIVERSIDADE DE ARANHAS DE SOLO NO PARQUE NACIONAL DA CHAPADA DAS MESAS, CAROLINA - MARANHÃO, BRASIL

Data de aceite: 01/09/2023

Jair Willyans Sousa Guajajara Oliveira
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
Imperatriz – Maranhão
https://orcid.org/0009-0008-4740-3778

Luana Silva Carvalho
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão e Universidade Federal do Piauí
Imperatriz – Maranhão e Floriano – PI
https://orcid.org/0000-0002-2734-9208

Yasmin Rita Alves Aguiar de Paula
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão e Universidade Federal do Piauí
Imperatriz – Maranhão e Floriano – PI
https://orcid.org/0000-0001-6198-1023

Cláudio de Jesus Silva Júnior
Museu Paraense Emílio Goeldi
Belém – Pará
https://orcid.org/0000-0003-1300-8872

Marcelo Francisco da Silva
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
Imperatriz – Maranhão
https://orcid.org/0000-0002-9148-6725

Regiane Saturnino
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
Imperatriz – Maranhão
https://orcid.org/0000-0002-5379-3580

RESUMO: Aranhas estão entre os grupos mais diversos de animais, são grandes predadores e podem ser responsáveis pela regulação populacional de outros invertebrados. Embora sejam muito abundantes no ecossistema, dependem da aplicação de técnicas corretas de amostragem em relação ao estrato de ocupação. Aranhas de solo são também muito diversas, mas devido ao pequeno tamanho, em geral, são subamostradas. No Maranhão isso não é diferente, e especificamente no Parque Nacional da Chapada das Mesas – PNCM – nenhum inventário do grupo havia sido realizado na região. Tendo isso em vista, o objetivo deste trabalho é inventariar a comunidade de aranhas de solo no PNCM. A amostragem de aranhas foi realizada com o uso de armadilhas de queda, também denominadas *pitfall trap*, que permaneceram no campo por 7 dias. Foram demarcados 3 pontos de

coleta, distantes pelo menos 1km um ao outro; cada ponto foi composto de quatro parcelas de 30 X 10 m e estas foram demarcadas paralelamente entre si. O esforço amostral foi de 120 armadilhas, 10 destas montadas em cada parcela. Foram coletadas 958 aranhas, dos quais 420 são adultos e 538 são jovens, distribuídos em 16 famílias. As famílias mais abundantes foram Zodariidae, Lycosidae e Salticidae, em ordem decrescente, que representaram 90% do número total de indivíduos. As famílias que apresentaram maior riqueza em espécies foram: Lycosidae e Zodariidae, ambas com 7 espécies/morfoespécies. Os indivíduos coletados correspondem com os esperados para o estrato de solo, assim como para o Cerrado.
PALAVRAS-CHAVE: Araneofauna; inventário; Unidades de Conservação.

DIVERSITY OF SOIL SPIDERS IN CHAPADA DAS MESAS NATIONAL PARK, CAROLINA - MARANHÃO, BRAZIL

ABSTRACT: Spiders are among the most diverse groups of animals, are great predators and may be responsible for population regulation of other invertebrates. Although they are very abundant in the ecosystem, they depend on the application of correct sampling techniques in relation to the stratum of occupation. Soil spiders are also very diverse, but due to their small size, they are often undersampled. In Maranhão this is not different, and specifically in the Chapada das Mesas National Park – CMNP – no inventory of the group was carried out in the region. So, the objective of this work is to inventory the soil spider community in CMNP. Spider sampling was performed using pitfall traps, which remained in the field for 7 days. Three collection points were demarcated, at least 1km apart from each other, each point was composed of four plots of 30 X 10 meters and these were demarcated parallel to each other. The sampling effort consisted of 120 traps, 10 of which were set up in each plot. A total of 958 spiders were collected, of which 420 are adults and 538 are young, distributed in 16 families. The most abundant families were Zodariidae, Lycosidae and Salticidae, in descending order, which represented 90% of the total number of individuals. The families with the highest species richness were: Lycosidae and Zodariidae, both with 7 species/morphospecies. The individuals collected correspond to those expected for the soil stratum, as well as for the Cerrado.
KEYWORDS: Araneofauna; inventory; conservation units.

1 | INTRODUÇÃO

Aranhas estão entre os grupos mais diversos de animais, com mais de 51 mil espécies descritas no mundo todo (World Spider Catalog, 2023). Dada a sua alta diversidade em espécies e de estratégias de predação (Bonaldo *et al*., 2009), conquistaram quase todos os ambientes terrestres, desempenhando, assim, importante papel na manutenção do equilíbrio ecológico (Bonaldo *et al*., 2009), uma vez que são um dos maiores predadores dentre os invertebrados. Apesar de sua ampla distribuição e sua função na preservação das relações ecológicas que circundam o seu nicho, este grupo ainda se encontra mal amostrado no Brasil, principalmente no Nordeste, como consequência há um baixo número de publicações na região (Carvalho; Avelino, 2010).

No estado do Maranhão, por sua vez, apenas recentemente têm sido realizados

inventários regulares da fauna de aranhas, incluindo aqueles na Reserva Extrativista do Ciríaco, Imperatriz e Cidelândia e no 50° Batalhão de Infantaria de Selva, também em Imperatriz (observação pessoal). A expansão das áreas de coleta, agora inclui o Parque Nacional da Chapada das Mesas (PNCM), caracterizado por sua total inserção no bioma Cerrado, e relevos especializadas na formação de serras, morros e mesas (Dias, 2016). Embora áreas de proteção integral, como o PNCM, sejam priorizadas no que se diz respeito a conservação, elas ainda sofrem com ações antrópicas como o desmatamento provenientes de queimadas e, principalmente extração ilegal de madeira.

A comunidade de aranhas é sensível a uma gama de fatores ambientais, como estrutura e tipo de habitat, exposição ao vento, umidade, detritos do solo e temperatura (Wheater *et al*., 2000; Maelfait *et al*., 2002). Estes mesmos fatores também afetam a estrutura do ambiente e, consequentemente, a comunidade de aranhas (Wheater *et al*., 2000), pois estas dependem do ambiente para forrageamento e fixação de suas teias. Neste contexto, também é esperada uma diferenciação na riqueza, abundância e composição da comunidade de aranhas em função do estrato de ocorrência, assim como devido a diferenças nas variáveis ambientais, tais como profundidade da serapilheira, complexidade ambiental, entre outras.

Diante do exposto, embora as aranhas estejam distribuídas em toda a extensão vertical da floresta, o conhecimento acumulado nos diferentes estratos não é proporcional, sendo o solo, atualmente um dos habitats menos conhecidos em relação a sua araneofauna (Gasdorf; Goodnight, 1963). Tal fato não se deve a uma menor diversidade em espécies ou importância do solo e, provavelmente, está mais relacionado a um desvio histórico de amostragem e interesse dos pesquisadores, em geral, pelo sub-bosque. Mesmo o dossel é mais subamostrado em relação ao solo, dada a maior dificuldade de amostragem no limite superior da floresta. Além disso, Uetz e Unzicker (1976) argumentam que apesar das aranhas de solo serem reconhecidas por muitos aracnologistas como um grupo distinto de aranhas, um dos grandes problemas de pesquisas ecológicas sobre essas aranhas é a falta de técnicas de amostragem precisas. Outros fatores que contribuem para a escassez de conhecimento sobre a araneofauna de solo são o longo tempo em laboratório gasto na triagem das amostras, assim como na instalação das armadilhas de queda (*pitfall trap*), entre outros métodos. Tais fatores reduzem a quantidade de amostras viáveis de serem obtidas e triadas em curto tempo em comparação a outros métodos, causando um desvio negativo na escolha de métodos de solo para representar mudanças no habitat. Contudo, a fauna de solo é bastante específica e diferenciada dos demais estratos da floresta, sendo uma importante fonte para complementar o conhecimento da diversidade do grupo. Diante do exposto, o presente trabalho foi conduzido no PNCM, Maranhão, com o objetivo de inventariar a sua comunidade de aranhas de solo.

2 | METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

O Parque Nacional da Chapada das Mesas (PNCM) está localizado no Sul do estado do Maranhão, na Mesorregião Sul Maranhense. Abrange os municípios de Carolina, Estreito e Riachão. O PNCM é caracterizado por chapadas de altitude basal em torno de 250 m, está localizado na Bacia Sedimentar do Parnaíba e o Orógeno Brasiliano do Tocantins (Salgado *et al*., 2015). A formação do solo é originada basicamente de sambaíba, quase que totalmente compostos de areia (MMA, 2007).

Trata-se de uma Unidade de Conservação de Proteção Integral criada pelo decreto federal s/n de 12 de dezembro de 2005, ocupando 160.046.00 ha. O clima da região é Tropical Úmido, caracterizado por um verão seco e por um inverno chuvoso; índices pluviométricos anuais em torno de 1.250 e 1.500 mm e temperatura média anual em torno de 26º (MMA, 2007).

A vegetação do PNCM apresenta as seguintes fisionomias de Cerrado: Campo sujo, Campo rupestre, Cerrado sentido restrito, Palmeiral, Veredas, Mata ciliar, Mata de galeria, Mata seca e Cerradão (Ribeiro; Walter, 1998), além de áreas de Caatinga, Amazônia e manchas de matas semideciduais (MMA, 2007).

2.2 Delineamento amostral

As coletas foram conduzidas ao longo de um transecto de 3 km, no qual foram demarcados três pontos de coleta (Figura 1), distribuídos ao longo de formações savânicas, distantes pelo menos 1 km entre si. Cada ponto foi composto de quatro parcelas de 30 X 10 m, demarcadas, paralelamente, entre si (Figura 2). Este número de parcelas tem por objetivo aumentar a representatividade biológica do ponto amostral.

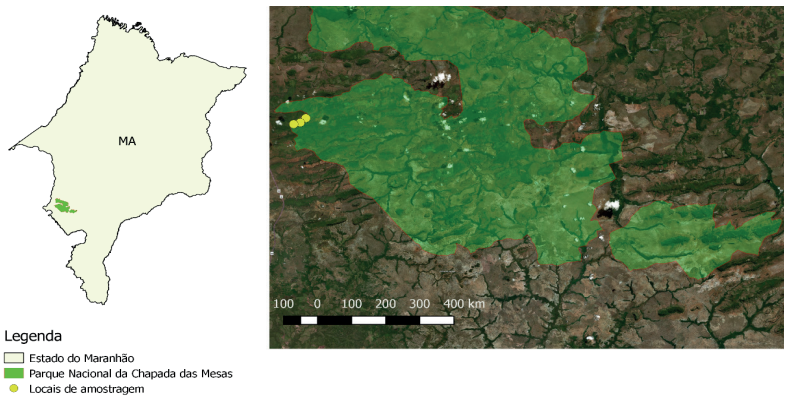


Figura 1. Mapa do local de estudo com a indicação dos limites (borda vermelha e interior verde) do Parque Nacional da Chapada das Mesas no Estado do Maranhão. Os três pontos de amostragem estão destacados em amarelo.
Fonte: Autores (2022).

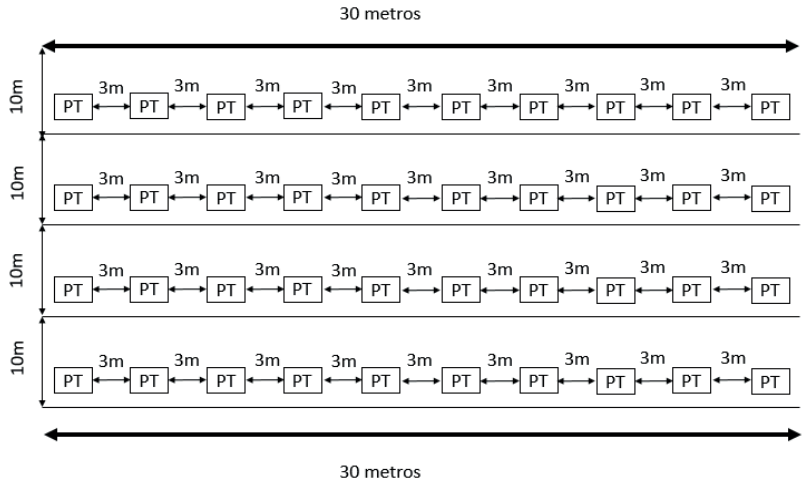
2.3 Amostragem de aranhas e procedimento de laboratório

As aranhas foram coletadas com o uso de armadilhas de solo (licença de coleta SISBIO n. 72343-1), também denominadas de *pitfall trap* (Figura 3). Esse método de coleta consiste em enterrar, ao nível do solo, um copo descartável resistente de 500 ml. Um terço do copo é preenchido com álcool 96% para fixar e preservar os animais que caem no mesmo. O copo é coberto com um prato descartável, fixado com palitos no solo, a fim de evitar o acúmulo de água de chuva, para não transbordar a amostra. O copo permanece enterrado por 7 dias e, ao final a amostra é retirada e transferida para um pote coletor, contendo álcool 70%. O material presente em cada copo descartável é tratado como uma amostra, etiquetado com um código de campo que remete a informações de localidade, coletor (es) e data de coleta.

Foram montadas 40 armadilhas em cada ponto amostral, dispostas a 3 m de distância umas das outras, sendo 10 por parcela e 120 amostras no total. As amostras obtidas foram conduzidas ao Laboratório de Zoologia da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), *campus* Imperatriz, Maranhão, para triagem e identificação.

As aranhas coletadas foram mantidas em álcool 70%; as amostras obtidas em campo foram triadas, individualmente, em placas de petri sob estereomicroscópio. As aranhas coletadas foram armazenadas em tubos coletores de fundo chato contendo álcool 70% e, as etiquetas de identificação das amostras foram replicadas tantas vezes quantas necessárias. Finalizada a triagem, as aranhas foram identificadas ao nível de família com uso de chave de identificação (Brescovit *et al*., 2002).

Por último foi feita a identificação específica das aranhas adultas, pois apenas estas apresentam a genitália desenvolvida, órgão chave na identificação das espécies. Foi feito um esforço de identificação de gêneros e espécies com base em bibliografia recente. Quando não foi possível alcançar a identificação específica, o material foi morfotipado no nível mais preciso possível (família ou gênero). Esta é uma prática comum em aracnologia, uma vez que muitos grupos carecem de revisão taxonômica e, o desconhecimento sobre a fauna de aranhas ainda é significativo. Morfoespécies consistem em unidades taxonômicas, cujas características morfológicas são hipotetizadas como diagnósticas de espécies.



Legenda: PT: *pitfall trap.*

Figura 2. Ilustração da disposição das armadilhas de queda nos pontos de amostragem no Parque Nacional da Chapada das Mesas, Maranhão.

Fonte: Autores (2022).



Figura 3. Armadilha de queda, montada nos pontos de amostragem no Parque Nacional da Chapada das Mesas, Maranhão. Detalhe: copo contendo álcool e prato descartável fixado com palitos de madeira.

Fonte: Autores (2022).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi coletado um total de 958 aranhas, sendo 420 (44%) adultos e 538 (56%) jovens, distribuídas em 16 famílias (Tabela 1). As aranhas adultas foram identificadas em 37 morfoespécies e 12 famílias (Tabela 2). As famílias mais abundantes foram Zodariidae, representada por 581 espécimes, Lycosidae e Salticidae, em ordem decrescente, que representaram 90% do número total de indivíduos, considerando jovens e adultos. Quatro famílias foram representadas apenas por indivíduos jovens: Miturgidae, Palpimanidae, Scytodidae e Selenopidae. As famílias Araneidae e Theraphosidae apresentaram apenas indivíduos adultos na amostragem. Do total de famílias encontradas, 3 foram representadas por apenas um espécime. De todas as morfoespécies capturadas, 17 foram representadas por apenas um indivíduo.

Lycosidae e Zodariidae foram as famílias que apresentaram maior número de espécies, 7 cada. As espécies/morfoespécies mais abundantes foram: *Leprolochus* aff. *oeiras* (Zodariidae) com 141 indivíduos (33,57%), *Leprolochus mucuge* Lise, 1994 (Zodariidae), e *Nosferattus occultus* Ruiz & Brescovit, 2005 (Salticidae) (Tabela 2).

FAMÍLIA	N° DE MACHOS	N° DE FÊMEAS	N° DE JOVENS
Araneidae	0	1	0
Corinnidae	4	0	8
Ctenidae	1	0	7
Dipluridae	1	0	7
Gnaphosidae	17	6	7
Lycosidae	**15**	**17**	**179**
Miturgidae	0	0	1
Oonopidae	1	2	3
Oxyopidae	5	9	3
Palpimanidae	0	0	3
Salticidae	**32**	**17**	**22**
Scytodidae	0	0	1
Selenopidae	0	0	2
Theraphosidae	2	0	0
Theridiidae	0	2	2
Zodariidae	**248**	**40**	**293**
Subtotal	**326**	**94**	**538**
TOTAL GERAL			**958**

Tabela 1. Número de aranhas, machos, fêmeas e jovens, por família coletadas no Parque Nacional da Chapada das Mesas (PNCM), Maranhão.

Fonte: Autores (2022).

TAXÓN	Nº DE MACHOS	Nº DE FÊMEAS
Araneidae	**0**	**1**
Araneidae sp.1	0	1
Corinnidae	**4**	**0**
Corinnidae sp.1	2	0
Corinnidae sp.2	1	0
Corinnidae sp.3	1	0
Ctenidae	**1**	**0**
Ctenidae sp.1	1	0
Dipluridae	**1**	**0**
Dipluridae sp.1	1	0
Gnaphosidae	**17**	**6**
Gnaphosidae sp.1	17	6
Lycosidae	**15**	**17**
Lycosidae sp.1	13	0
Lycosidae sp.2	0	1
Lycosidae sp.3	0	3
Lycosidae sp.4	0	3
Lycosidae sp.5	0	10
Lycosidae sp.6	1	0
Lycosidae sp.7	1	0
Oonopidae	**1**	**2**
Oonopidae sp.1	0	1
Oonopidae sp.2	1	0
Oonopidae sp.3	0	1
Oxyopidae	**5**	**9**
Oxyopidae sp.1	0	2
Oxyopidae sp.2	4	0
Oxyopidae sp.3	0	6
Oxyopidae sp.4	0	1
Oxyopidae sp.5	1	0
Salticidae	**32**	**17**
Capidava sp.1	2	0
Euophryini sp.1	0	8
Euophryini sp.2	0	8
Nosferattus occultus (Ruiz & Brescovit, 2005)	30	0
Salticidae sp.1	0	1
Theraphosidae	**2**	**0**
Theraphosidae sp.1	1	0
Theraphosidae sp.2	1	0
Theridiidae	**0**	**2**

Theridiidae sp.1	0	2
Zodaridae	**248**	**40**
Leprolochus aff. *oeiras*	137	4
Leprolochus mucuge (Lise, 1994)	107	1
Leprolochus parahybae (Mello-leitão, 1917)	0	15
Leprolochus sp.1	0	13
Leprolochus sp.2	0	6
Leprolochus sp.3	0	1
Tenedos sp.1	4	0
Subtotal	**326**	**94**
TOTAL GERAL		**420**

Tabela 2. Lista de morfoespécies/espécies de aranhas, divididas por número de machos e fêmeas, coletadas no Parque Nacional da Chapada das Mesas (PNCM), Maranhão.

Fonte: Autores (2022).

Os resultados da amostragem da araneofauna de solo da Chapada das Mesas foram semelhantes aos resultados de outros inventários de aranhas de solo para o Bioma Cerrado, indo de encontro as famílias aqui registradas. Soares (2020) realizou seu trabalho em duas fitofisionomias do Cerrado (Mata de galeria e Cerrado *sensu stricto*) no município do Inhamun, Caxias, Maranhão e teve como resultado Zodariidae como a família mais abundante. Cunha (2012) realizou suas pesquisas em dois fragmentos do cerrado litorâneo no Maranhão nas cidades de Tutóia e Paulino Neves, sendo que de forma semelhante a este trabalho, Zodariidae e Lycosidae foram as famílias mais abundantes. Arcela (2017) trabalhou em matas de galeria de Cerrado no município de Capitinga, Minas Gerais e registrou Lycosidae como a família mais abundante. Mineo (2009) pesquisou no município de Uberlândia, Minas Gerais, no Cerrado e encontrou as famílias Zodariidae e Lycosidae como as mais abundantes de seu trabalho.

As famílias que apresentaram maior diversidade neste trabalho foram Lycosidae e Zodariidae. Resultado que não se assemelha aos obtidos em outras pesquisas na região ou com a utilização do mesmo método de coleta (*pitfall*). Ferreira (2011) utilizando *pitfall* para captura de aranhas de solo em uma área de Caatinga da Serra de São José, Bahia, registrou Salticidae, Corinnidae e Oonopidae, como as famílias mais diversas. Dias *et al*. (2005) em fragmentos florestais no sul da Bahia, por sua vez, registrou Salticidae, Oonopidae e Ctenidae. Theridiidae e Tetragnathidae foram as mais ricas nos estudos de Trivia (2013) no Parque Nacional na Lagoa do Peri, Florianópolis, Santa Catarina. A falta de similaridade com outros resultados para amostragem de solo pode ser atribuída com a escassez de trabalhos publicados para a região. Também levamos em conta a não publicação de pesquisas para a Unidade de Conservação Integral de foco do trabalho (Parque Nacional da Chapada das Mesas). Carvalho e Avelino (2010) em seu trabalho

também registraram *Leprolochus oeiras* Lise, 1994 como a espécie mais abundante.

Zodariidae é esperada de estar entre as mais abundantes e diversificadas por sua ampla distribuição e riqueza em espécies, principalmente em climas tropicais e subtropicais. Além disso, seu método de predação é especializado na caça, portanto, é preciso que os indivíduos se desloquem pelo ambiente para se alimentar, propiciando sua queda nas armadilhas. Verifica-se que a maioria dos Zodariidae coletados são machos. Estes se deslocam mais no ambiente, principalmente em busca de parceiras sexuais.

Vários estudos de armadilhas comprovam o atributo cosmopolita dos licosídeos, marcando presença nos mais variados ambientes, com abundância predominante em campos abertos (Jocqué; Alderweireldt, 2005) como savanas e, no caso deste trabalho, Cerrado. Este fato explica a grande ocorrência dessa família nos registros desse projeto.

Por fim, a ampliação de pesquisas na área tem aumentado o esforço amostral, inclusive, em diferentes épocas do ano e com a mensuração de variáveis ambientais, o que pode resultar em novos registros e no entendimento dos fatores que afetam a diversidade local dessas espécies.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As famílias coletadas correspondem as esperadas para o estrato de solo, assim como para o Cerrado. Ainda assim, como há um grande desconhecimento sobre a fauna de aranhas no Maranhão, foi registrado um baixo índice de resolução taxonômica dos grupos amostrados. Este estudo também contribui com uma parcela significativa de exemplares adultos, e espécies/morfoespécies. Novas espécies e novos registros devem ser determinados assim que a identificação dos espécimes coletados for refinada por especialistas.

AGRADECIMENTO

À FAPEMA pelo financiamento da pesquisa, projeto “DIVERSIDADE DE ARANHAS NO PARQUE NACIONAL DA CHAPADA DAS MESAS, MARANHÃO, BRASIL”, UNIVERSAL-01249/18; ao chefe do Parque Nacional da Chapada das Mesas, Deijacy Rego; aos funcionários da UEMASUL pelo auxílio prestado com o carro institucional, Anderson Paixão Feitosa e Everton Jorge Maizzete dos Santos; à Lilian Fernanda Serrão pelo auxílio prestado nas coletas e identificação de material em laboratório.

REFERÊNCIAS

ARCELA, A. **Diversidade da araneofauna de mata de galeria do Cerrado e suas respostas à manipulação da estrutura ambiental na serapilheira**. Universidade de Brasília. Instituto de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Ecologia. 2017.

BONALDO, A.B.; CARVALHO, L.S.; PINTO-DA-ROCHA, R.; TOURINHO, A.L.; MIGLIO, L.; ABRAHIM, N.; RODRIGUES, B.V.B.; BRESCOVIT, A.D.; SATURNINO, R.; BASTOS, N.C.; DIAS, S.C.; SILVA, B.J.F.; PEREIRA-FILHO, J.M.B.; RHEIMS, C.A.; LUCAS, S.M.; POLOTOW, D.; INDICATTI, R. P. Inventário e história natural dos aracnídeos da Floresta Nacional de Caxiuanã. In: LISBOA, P. (Org.). **Caxiuanã**: desafios para a conservação de uma Floresta Nacional na Amazônia. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2009. p. 7-16.

BRESCOVIT, A.D.; BONALDO, A.B.; BERTANI, R. & RHEIMS, C.A. 2002. Araneae. Araneae. In: ADIS, J. (ed.). **Amazonian Arachnida and Myriapoda - Keys for the identification to classes, orders, families, some genera, and lists of know species**. Sofia- Moscow, Pensoft. pp. 303-347.

CARVALHO, L. S; AVELINO, M. T. L. Composição e diversidade da fauna de aranhas (Arachnida, Araneae) da Fazenda Nazareth, Município de José de Freitas, Piauí, Brasil. **Biota Neotrop**, v. 10, n. 3. 2010.

CUNHA, J. A. S; ARZABE. C.; CASTRO, A. A. J. F.; BRESCOVIT, A. D. Diversidade preliminar de aranhas de solo em áreas de Cerrado Litorâneo com diferentes níveis de conservação, Maranhão, Brasil. **Revista Biociências**, Universidade de Taubaté, v.18, n. 1, 2012.

DIAS, M. F. R.; BRESCOVIT, A. D.; MENEZES, M. Aranhas de solo (Arachnida: Araneae) em diferentes fragmentos florestais no sul da Bahia, Brasil**. Inventários • Biota Neotrop**., v. 5, (1a), 2005.

DIAS, P. A. Nota Técnica 001/2016 – PNCM. **Parque Nacional Chapada das Mesas**. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio, 2016.

FERREIRA, G. S. C. **Inventário da Araneofauna de Solo (Arachnida: Araneae) em uma área de Caatinga da Serra de São José, Feira de Santana, Bahia, Brasil**. Tese de Mestrado. Universidade estadual de feira de santana departamento de ciências biológicas programa de pós-graduação em zoologia, 2011.

GASDORF, E. C.; GOODNIGHT, C.J. Studies on the ecology of soil arachnids. **Ecology**, v. 44, n. 2, p. 261-268, 1963.

JOCQUÉ R., ALDERWEIRELDT M., 2005. Lycosidae: the grassland spiders. **Acta Zoologica Bulgarica**, Supplement, v.1, p. 125–130, 2005.

MAELFAIT, J.P.; BAERT, L.; BONTE, D.; BAKKER, D.D.; GURDEBEKE, S. & HENDRICKX, F. **The use of spiders as indicators of habitat quality and anthopogenic disturbance in Flanders, Belgiun**. *In*: Samu, F.; Szinetár, C.S. (Eds.), Proceedings of the 20th European Colloquium of Arachnology, Szombathely, European Arachnology. pp. 129-141, 2002.

MINEO, M. F. **Ecologia da comunidade de aranhas de solo de uma área de cerrado no sudeste do Brasil**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais. 2009.

MMA/IBAMA. 2007. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis. Centro Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais – Prevfogo. Parque Nacional da Chapada das Mesas. **Plano operativo de prevenção e combate aos incêndios florestais do Parque Nacional da Chapada das Mesas**, 2007.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma cerrado. In: SANO, S. M.; Almeida, S.P. (Eds.). **Cerrado**: ambiente e flora. Brasília: Editora da UnB. p. 89-166., 1998.

SALGADO, A.A.R.; BUENO, G.T.; DINIZ, A. D.; MARENT, B. R. 2015. Long-Term Geomorphological Evolution of the Brazilian Territory. In: VIEIRA B.C.; SALGADO A.A.R.; SANTOS. L.J.C. **Landscapes and Landforms of Brazil**, London: Springer, p. 19-31, 2015.

TRIVIA, A. L. **Diversidade de aranhas (Arachnida, Araneae) de solo na Mata Atlântica do Parque Municipal da Lagoa do Peri, Florianópolis, SC, Brasil**. Trabalho de Conclusão de Curso II da Universidade Federal de Santa Catarina, requisito parcial para a obtenção do Grau de Bacharel em Ciências Biológicas, 2013.

SOARES, F. I. L.; SOARES, L. A. L.; REIS, L. L.; MARTINS, E. S.; RODRIGUES, J. C.; BRESCOVIT, A. D.; FORMIGA, L. D. A. S. Estudo da composição e abundância de aranhas (arachnida: araneae) de solo em duas fitofisionomias do cerrado, Maranhão, Brasil. **Rev. Geociênc. Nordeste**, Caicó, v.6, n.2, (Jul-Dez) p.95-105, 2020.

UETZ, G.W.; UNZICKER, J.D. 1976. Pitfall trapping in ecological studies of wandering spiders. **The Journal of Arachnology**, v. 3, p.101-111, 1976.

WORLD SPIDER CATALOG. **World Spider Catalog**. Version 24. Natural History Museum Bern, online em: http://wsc.nmbe.ch, acessado em 24/07/2023. doi: 10.24436/2.

WHEATER, C.P.; CULLEN, W.R.; BELL, J.R. Spider communities as tools in monitoring reclaimed limestone quarry landforms. **Landscape Ecology**, v. 15, p. 401– 406, 2000.

CAPÍTULO 6

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DE TRÊS ECOSSISTEMA AQUÁTICOS URBANOS DO MUNICÍPIO DE IMPERATRIZ-MA UTILIZANDO ÍNDICE DE QUALIDADE DE BASCARÁN (IQA_B)

Data de aceite: 01/09/2023

Jorge Diniz de Oliveira
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão-UEMASUL
Imperatriz-Maranhão
https://orcid.org/0000-0001-9421-0524

Marcelo Francisco da Silva
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão-UEMASUL
Imperatriz-Maranhão
https://orcid.org/0000-0002-9148-6725

Ivaneide de Oliveira Nascimento
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão-UEMASUL
Imperatriz-Maranhão
https://orcid.org/0000-0001-7095-7092

Aichely Rodrigues da Silva
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão-UEMASUL
Imperatriz-Maranhão
https://orcid.org/0000-0001-94447-2380

Rafael de Oliveira Araújo
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
Imperatriz-Maranhão
http://orcid.org/0000-0003-2346-7407

Claudia Karen Silva Lopes
Universidade Estadual da região Tocantina do Maranhão
Imperatriz-Maranhão
https://orcid.org/0000-0001-8422-7904

RESUMO: Este trabalho tem como objetivo avaliar a qualidade da água do Riacho Bacuri, Riacho do Meio e Riacho Santa Tereza de Imperatriz, com base na resolução CONAMA nº 357/2005. Foram determinados os parâmetros físicos, químicos o Índice de Qualidade da Água (IQA. As variações observadas para as variáveis físico-químicas e IQA indicam haver alterações na qualidade da água e essas alterações ocorrem em virtude de ações antrópicas.

PALAVRAS-CHAVE: Riachos, Parâmetros físico-químicos, Impacto ambiental.

ENVIROMENTAL DIAGNOSIS OF TREE URBAN AQUATIC ECOSYSTEMS IN THE MUNICIPALITY OF IMPERATRIZ-MA USING BASCRÁN QUALITY INDEX(IQA_B)

ABSTRACT: This work aim to evaluate the water quality of the Bacuri Stream, Meio Stream, and Santa Tereza de Imperatriz Stream, based on CONAMA resolution nº 357/2005. The physical and chemical parameters and the Water Quality Index (WQI) were determined. The variations observed for the physical-chemical and WQI

variables indicate that there are changes in water quality and these changes occur due to anthropic actions.
KEYWORD: Stream, Physucal-chemical parametrs, Environmental impact

1 | INTRODUÇÃO

A contaminação das águas superficiais, caracterizada pelos riachos urbanos, ocorre devido a despejos de poluentes dos esgotos sanitários, domésticos e industriais, escoamento superficial urbanos agregados com resíduos sólidos urbanos e drenagem de água subterrânea contaminada que chega aos riachos. A pressão das atividades antrópicas no processo de urbanização da cidade de Imperatriz-MA nas últimas décadas tem sido responsável pelos impactos sobre os ecossistemas aquáticos urbanos a deterioração da qualidade da água desses ecossistemas por falta de tratamento dos efluentes tem criado um potencial de risco para as populações ribeirinhas.

Nesse sentido, os rios e córregos urbanos estão entre os ecossistemas mais prejudicados pelas atividades antrópicas (Szymanska *et al.,* 2020), com reflexos diretos na perda de serviços ecossistêmicos, definidos como os benefícios diretos e indiretos que as pessoas obtêm dos ecossistemas (fornecimento, regulação, suporte e valores culturais) (Liu *et al.,* 2019).

Segundo Gouveia e Selva (2021) os riachos urbanos são importantes componentes dentro das cidades, pois são cursos de água com características ecológicas, como o carregamento dos aquíferos, a infiltração das águas pluviais, além de recuperarem as bases dos rios. Sendo assim, o monitoramento dos recursos hídricos é um poderoso instrumento de avaliação e gestão da qualidade da água, uma vez que auxilia na redução dos impactos atrelados às atividades antrópicas (Santos *et al*., 2021).

Diante desse quadro, o uso de análises dos parâmetros físico-químicos para identificar a qualidade da água é uma tentativa de tentar monitorar águas desses ecossistemas aquáticos como forma de acompanhar e levantar algumas informações prevenindo uma possível deterioração do corpo de água ao longo do tempo, portanto torna-se relevante investigar os possíveis impactos ambientais que vem sofrendo.

É fundamental que os recursos hídricos apresentem condições físico-químicas adequadas para a utilização dos seres vivos, devendo conter substâncias essenciais à vida e estar isentos de outras substâncias que possam produzir efeitos prejudiciais aos organismos (Braga *et al*., 2003). O Riacho Bacuri, Riacho do Meio, e Riacho Santa Tereza passam pelo perímetro urbano da cidade de Imperatriz, MA antes de desaguarem no rio Tocantins, portanto torna-se relevante investigar os possíveis impactos ambientais que esses corpos hídricos vêm sofrendo.

Neste contexto, o presente trabalho tem por objetivo avaliar a qualidade da água desses tributários do rio Tocantins e a influência da urbanização na qualidade da água

desses tributários, por meio de comparação entre os pontos de coletas e sugerir alternativas para uma boa preservação desses corpos hídricos, uma vez que essa preservação reduz grau de contaminação do rio Tocantins.

2 I METODOLOGIA

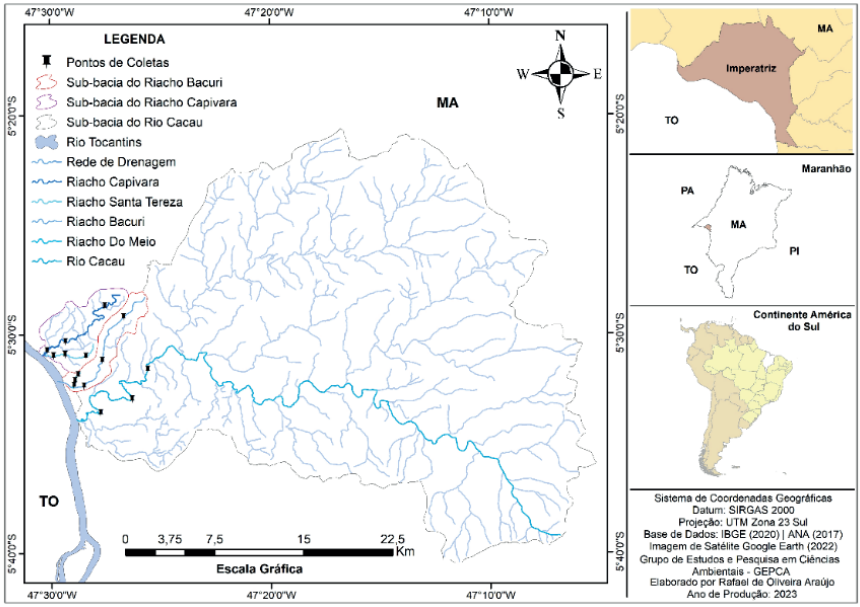
2.1 Área de estudo

A cidade de Imperatriz, localizada na mesorregião oeste maranhense, a 5º31'33" de latitude sul e 27º28'33" longitude oeste, em uma altitude de 95 metros, se estende pela margem direita do rio Tocantins é atravessada pela Rodovia Belém-Brasília, possui (segundo os últimos dados disponíveis) 273.110 habitantes, dos quais 234.671 habitantes (98,80%) residem na zona urbana, segundo dados estatísticos do IBGE (2022). Todos os corpos hídricos investigados estão localizados ao longo do perímetro recebem alta carga de resíduos líquidos domésticos e sanitário sem tratamento prévio e pontos de rede de drenagem pluviais.

2.2 Localização dos pontos de cole e tratamento das amostras de água

As mostras foram coletadas em três pontos distintos nos Riacho Bacuri, Riacho do Meio e Riacho Santa Tereza. Os pontos amostrais pontos foram selecionados aproximadamente a 2 m a jusante do ponto de entrada de contaminação (Figura 1). As coletas foram realizadas em garrafas plásticas de 500 mL, previamente lavadas no laboratório, e no próprio local de amostragem foram lavadas três vezes, consecutivamente, com água dos corpos hídricos estudados e preservadas segundo as normas da CETESB (2004).

Foram realizadas 4 coletas sendo duas no período não chuvoso e duas no período chuvoso. Após a coleta as amostras de água foram transportadas em recipientes termicamente isolados sob resfriamento e no laboratório foram imediatamente feitas as determinações pH, turbidez e condutividade, em seguida foram realizadas as determinações de alcalinidade, cloretos, material particulado em suspensão (MPS) e acidez. Todas as amostras foram coletadas em triplicata.



	Ponto 1	S 05° 33' 22,4"
		WO 47° 28' 45,5"
Riacho Bacuri	Ponto 2	S 05° 30' 15,9""
		WO 47° 28' 45,5"
	Ponto 3	S 05° 29' 40,5"
		WO 47° 28' 45,5"
	Ponto 1	S 05° 29' 23,8
		WO 47° 28' 42,8
	Ponto 1	S: 05° 32' 23.7
		WO: 47° 18' 59.9
Riacho do Meio	Ponto 2	S: 05° 32' 14.9
		WO: 47° 28'56.9
	Ponto 3	S: 05° 32' 07.9
		WO: 47° 28' 54.1
	Ponto 1	S 05° 30' 57,9
		WO 47 29' 38,4
Riacho Santa Tereza	Ponto 2	S 05° 32' 11,0
		WO 47 29' 00,6
	Ponto 3	S 05° 31' 03,0
		WO 47° 28' 42,8

Figura 1A. Mapa de localização dos pontos amostrais nos Riachos Bacuri, Riacho do meio e Riacho Santa Tereza com as suas respectivas coordenadas geográficas.

Fonte: Autores (2023).

2.3 Análise das Variáveis Físico-Químicas

As medidas de pH e potencial redox (ORP) foram realizadas pelo método potenciométrico com pHmetro de bancada modelo pH- 21 pH/mV meter da HANNA, calibrado com uma solução tampão no pH 4,0 e pH 7,0. A temperatura foi feita *in situ* com a utilização de termômetro digital marca HANNA HI 98501. Para a definição da condutividade

elétrica se utilizou o Condutivímetro Q-40- da QUIMIS calibrado com uma solução de KCl 1 mol L^{-1}, a temperatura foi ajustada a 25ºC e a leitura foi em mmS cm^{-1}. Os sólidos totais foram determinados pelo método gravimétrico de cordo com Macêdo (2002).

Para a determinação de turbidez utilizou-se método nefelométrico usando um Turbidímetro microprocessador de bancada da Tecnopon modelo TB-1000 da ADAMO previamente calibrado. As determinações da alcalinidade total foram realizadas por intermédio do método volumétrico com detecção potenciométrica utilizando-se um pHmetro de bancada modelo pH-21 pH/mV meter da HANNA com eletrodo de vidros. Uma alíquota de 50 ml da amostra a homogeneizada foi transferida para um Becker de 100 ml, na amostra foi introduzido um eletrodo de vidro previamente calibrado em pH 4,0 e pH 7,0. A titulação foi realizada até o pH final de 4,5 o volume gasto foi anotado, segundo metodologia proposta por Macêdo (2002).

As análises de cloretos foram realizadas utilizado a técnica titulométrica de precipitação pelo método de Mohr, tendo como titulantes como uma solução de nitrato de prata ($AgNO_3$) 0,02 N e como indicador solução de cromato de potássio ($K_2Cr_2O_4$), conforme proposição de Macedo (2002).

Para a determinação de material particulado em suspensão (MPS) foi utilizado uma alíquota de 1 L das águas não acidificadas para análise de material particulado em suspensão e metais dissolvidos foram imediatamente filtradas com auxílio de uma bomba de vácuo em filtro de membrana 0,45 mm, previamente seca a 60°C e pesada. Após a filtração, o material particulado (resíduo na membrana) foi seco em estufa 60 ± 5°C, por aproximadamente 24 horas, e resfriado em dessecador. A concentração final do material particulado em suspensão (MPS), que constitui a fração orgânica e inorgânica do MPS, foi obtida por diferença de peso das membranas antes e após a filtração (Jordão et al., 1999; Oliveira, 2006).

2.4 Índice de Qualidade da Água de Bascarán

Neste trabalho foi utilizando o Índice de Qualidade de Água de Bqscarán (IQAb), diferentemente dos outros índices, é bastante flexível, pois permite a introdução ou exclusão de variáveis de acordo com as necessidades ou limitações para obtenção de dados, sendo possível definir um índice básico com um número reduzido de variáveis e outro completo com maior número de variáveis (Rizzi, 2001). A partir das variáveis analisadas fez-se a média dos resultados e calculou-se o Índice de Qualidade da Água de Báscaran (IQAb) (Rizzi, 2001).

O IQAb foi calculado utilizando-se a equação:

$$IQAb = K \times (\sum Ci \times Pi) / \sum Pi \quad (1)$$

Onde: Ci= valor percentual correspondente à variável (tabelado); Pi= peso

correspondente a cada variável (tabelado); K= constante de ajuste em função do aspecto visual das águas (1,00 para águas claras; 0,75 para águas com ligeira cor, espuma e turbidez; 0,50 para águas contaminadas e com forte odor; 0,25 para águas que apresentam fermentações e odores.

O valor de IQAb varia de 0 a 100 e corresponde a uma escala qualitativa de caracterização que varia desde o aspecto péssimo ao excelente (Quadro 1).

Aspecto aparente	**Valor do IQA_b**	**Aspecto aparente**	**Valor do IQAb**
Péssimo	0	Aceitável	60
Muito ruim	10	Agradável	70
Ruim	20	Bom	80
Desagradável	30	Muito bom	90
Impróprio	40	Excelente	100
Normal	50		

Quadro 1. Aspecto aparente de qualidade da água em função do valor de IQAb calculado

Fonte: CORADI *et al*., (2009).

3 I RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 1 estão apresentadas as médias dos valores das variáveis físico-química dos corpos hídricos investigados no perímetro urbano da cidade de Imperatriz-MA nos períodos não chuvoso e chuvoso. O pH é uma variável abiótica importante nos ecossistemas aquáticos de difícil interpretação pela quantidade de fatores que o podem afetar (Esteves, 2011). O valor médio do pH foi de 6,73 a 7,53 no período não chuvoso, e de 6,60 a 6,75 no período chuvoso como mostrado na Tabela 1. Os valores do pH em todos os riachos para o período chuvoso foram mais baixos que o período não chuvoso contrariando a afirmação de Silva *et al.* (2008).

Os riachos do Meio e Santa Tereza aprestaram comportamento de ligeiramente alcalino no período não chuvoso (Tabela 1). Alguns autores afirmam que corpos hídricos sobre a influência de despejo domésticos apresentam caráter ligeiramente alcalino, sendo esse comportamento provavelmente devido à presença de matérias orgânicas presente nos mesmos (Alberto; Ribeiro Filho, 2012), o que justifica o comportamento observado na Tabela 1 para os riachos do Meio e santa Tereza.

		Riacho Bacuri			Riacho do Meio			Riacho Santa Tereza		
Variaves Fisico-Químicas		P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
pH	Não Chuvoso	6,73	6,74	6,95	7,09	7,11	7,06	7.14	7,53	7,00
	Chuvoso	6,60	6,73	6,83	6,66	6,72	6,76	6,77	6,80	6,75
ORP(mV)	Não Chuvoso	7,99	7,83	10,99	9,16	8,49	9,83	-0,34	-1,67	7.83
	Chuvoso	22,33	16,16	11,33	22,16	19,49	15,66	13,45	13,66	16,16
STD(mg L^{-1})	Não Chuvoso	280,05	186,03	420,02	281,01	356	362,03	239,50	236,02	214,04
	Chuvoso	177,02	205,10	213,50	156,36	356,02	50,65	164,05	170,02	219,50
C.E(□S cm^{-1})	Não Chuvoso	300,66	311,33	437,16	421,63	437,5	258,57	353,49	301,49	275,99
	Chuvoso	312,99	307,66	365,16	356,10	358,2	355,85	326,99	328,66	290,49
Temperatura(ºC)	Não Chuvoso	29,9	29,9	30,0	29,6	29,8	29,8	31,1	31,1	31,20
	Chuvoso	27,7	27,7	26,9	28,1	28,0	27,9	27,9	27,9	27,9
Turbidez (N.T.U)	Não Chuvoso	7,89	21,51	31,93	21,17	22,89	24,16	20,20	14,56	21,90
	Chuvoso	10,39	17,56	26,38	29,91	33,21	107,95	18,36	17,50	27,55
MPS(mg L^{-1})	Não Chuvoso	9,58	23,03	31,03	320,10	106,50	32,00	63,00	59,00	101
	Chuvoso	1,62	23,01	36,04	46,02	51,03	47,37	24,03	16,01	96,03
A.T.(mg L^{-1} de $CaCO_3$).	Não Chuvoso	120,00	140,05	170,00	180,00	190	200,05	120,01	120,01	140
	Chuvoso	110,02	130,01	160,03	130,00	150	140,04	130,00	130,00	110
Cloreto(mg L^{-1})	Não Chuvoso	87,67	75,98	75,98	87,67	93,52	87,67	64,92	58,46	5429
	Chuvoso	87,67	87,67	87,67	111,05	122,7	116,90	87,67	81,83	75,98

ORP: Potencial Redox; STD: Sólidos totais dissolvidos: C.E: Condutividade elétrica; MPS: Material particulado em suspensão; A.T: Alcalinidade total

Tabela 1. Valores médios das variáveis físico-químicas nos três pontos amostrais nos riachos urbanos estudados

Fonte: Autores (2018).

Os valores médios obtidos para o pH em todos os riachos encontram-se na faixa considerada para manutenção da vida aquática pela legislação brasileira (CONAMA 357/05) a qual estabelece valores variado entre 6 e 9. As variações observadas permitem inferir que ações antrópicas, como por exemplo efluentes doméstico e sanitários, bem como as águas pluviais que escorrem para esses corpos hídricos sem nenhum tratamento prévio contribuíram com as variações observadas.

O ORP é um parâmetro muito importante na delimitação das condições de oxi-redução do meio, pois uma boa parte das reações observadas na natureza (25ºC e atm de pressão) envolvem processos de oxidação e redução. Valores positivos de ORP indicam condições oxidantes, enquanto valores negativos indicam disponibilidade de elétrons, ou condições redutoras. Os resultados encontrados para ORP nas águas do riacho Santa Tereza nos pontos 1 e 2 no período não chuvoso apresentaram valores negativos, indicando condições redutoras para esses corpos hídricos nesses pontos de coleta.

Nos demais pontos foram observados valores positivos para ORP indicam condições oxidantes. Os valores negativos devem estar relacionados a maior carga de matéria orgânica emitida por efluentes domésticos e sanitários que causam a diminuição de oxigênio dissolvido devido a decomposição desse material pelas bactérias. As erosões

as margens e o princípio de assoreamento próximo a esses pontos de coletas também contribuem para as variações da ORP ao longo desses corpos hídricos.

A Resolução Conama 357/05, não estabelece padrões para o ORP. Entretanto, para o Ministério do Meio Ambiente citado por Fiorucci e Benedetti Filho (2005) valores de ORP entre 200 mV e 600 mV indicam um meio fortemente oxidante, entre -100 mV e -200 mV indicam meios redutores e as condições de um rio não poluído são fracamente oxidantes graças à presença de quantidades limitadas de oxigênio dissolvido. Sendo assim os valores encontrados na Tabela 1, indicam que esses corpos hídricos apresentam condições de rio poluído.

Os sólidos dissolvidos totais (TDS) incluem sais inorgânicos (principalmente cálcio, magnésio, potássio, sódio, bicarbonatos, cloretos e sulfatos) e algumas pequenas quantidades de matéria orgânica que se dissolvem na água e a presença de sólidos dissolvidos na água é um indicativo da presença de sais, ácidos minerais e outros contaminantes similares despejados nos cursos de água.

De acordo com a Resolução CONAMA n.357/2005 o valor máximo permissível (VMP) para sólidos dissolvidos totais (SDT) é de 500 mg/L, dessa forma, pode-se observar que nenhum dos valores ultrapassou o VMP da resolução. Nenhum dos riachos investigados apresentaram concentrações STD que ultrapassassem o valor preconizado pela resolução Conama 357/2005 para corpos hídricos de classe 1, 2 e 3 (500 mg mL^{-1}). As variações observadas entre os pontos de amostragem podem ser justificadas por um maior assoreamento nos diferentes pontos e maior carga de esgotos sanitários.

A condutividade elétrica (C.E) depende dos íons em solução presentes no corpo hídrico, quanto maior a concentração de íons, maior será a condutividade. Para Esteves (2011), a condutividade elétrica é um parâmetro que pode mostrar modificações na composição dos corpos d'água, mas não especifica quantidades e componentes. É um parâmetro importante para controlar e determinar o estado e a qualidade de água (Piñeiro Di Blasi *et al*., 2013).

Os valores de condutividade evidenciam a alta condutividade elétrica em todos os riachos em ambos os períodos de coleta (Tabela 1), estando acima do limite estabelecido pela CETESB (2004), que é de 100μS. cm^{-1}, o que classifica os riachos como ambiente impactados, uma vez que os valores altos da condutividade das águas características corrosivas. De acordo com Paláez-Rodrigues *et al.* (2002), os valores de C.E apresentado para as águas em todos os ecossistemas aquáticos investigados estiveram acima da faixa considerada para água de ambiente lótico não contaminado, entre 6 e 30 μS cm^{-1}. Assim sendo, pode-se inferir que os mesmos podem ser considerados contaminados em relação à presença de sais dissolvidos, provavelmente devido ao descarte de resíduos domésticos e sanitários.

Na tabela 1 pode ser observado que no período não chuvoso os teores médios da condutividade são maiores, exceto para o ponto 1 no riacho Bacuri, indicando que a

sazonalidade altera os valores da condutividade elétrica devido a diluição dos íons presente nos corpos hídricos. Em estudos realizados por Nascimento *et al*. (2015) obtiveram os seguintes valores de condutividade elétrica para o riacho Bacuri, 70,4 a 377,0 $\mu mS.cm^{-1}$ quando comparamos esses resultados como os obtidos nesta pesquisa observa-se que ocorreu um aumento para a condutividade nesse corpo hídrico. As diferenças entre os resultados podem ser explicadas pelo aumento de efluentes domésticos ao longo do Riacho Bacuri, em virtude, do crescimento imobiliário na cidade de Imperatriz nas proximidades desses corpos hídricos.

A temperatura das águas varia conforme à insolação, associada às transferências de calor pelo ar, fricção etc. A variação da temperatura na água possui uma grande influência nas características físico-químicas e suas reações, as temperaturas das águas também afetam a flotação e locomoção dos microrganismos. A resolução 357/05 CONAMA, não faz referência sobre valores máximo e mínimo estipulado para a temperatura, no entanto, os resultados obtidos para esta variável estão dentro do esperado para as condições climática da região cujo clima é considerado equatorial quente e úmido.

As temperaturas médias encontradas para o riacho Bacuri apresentaram variação ao logo do perímetro investigado de 26,78 a 27,7ºC no período chuvoso (Tabela 1). Já no período não chuvoso a temperatura em todos os pontos foi de 29,9 ºC. No riacho Santa Tereza a variação foi de 31,1 a 31,15ºC no período não chuvoso e no período chuvoso de 27,87 a 27,9ºC. Para o riacho do Meio a variação foi de 29,6 a 29 no período não chuvoso e no período chuvoso 27,91 a 28,08ºC (Tabela 1).

A turbidez de uma água indica o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la, devido à presença de sólidos em suspensão, tais como partículas inorgânicas (areia, silte, argila), detritos orgânicos, algas, bactérias e, plânctons em geral (CETESB, 2004). A alta turbidez pode reduzir a atividade fotossintética o que por sua vez pode suprimir a produtividade de peixes, além disto, este parâmetro deixou de ser apenas estético para ser correlacionado com número de colônia de coliformes totais e fecais, casos de hepatite A e poliomielite (Mizutori *et al*. 2009). Os resultados obtidos para a turbidez em todos os corpos hídricos estiveram abaixo de 100 NTU, que é o limite máximo permitido segundo a Resolução CONAMA n°357/2005 para rio de Classe 2.

As águas naturalmente carreiam uma série de materiais particulado em suspensão (minerais e orgânicos) procedente de fontes diversas, como erosão do solo, curtumes, esgotos urbanos etc. Conforme a sua densidade diante das características do corpo receptor sofre sedimentação ao longo do curso das águas, em distâncias variáveis de acordo com o regime de escoamento das mesmas, causando maior ou menor impacto ambiental.

Sodré (2004) afirma que, a concentrações de material particulado em suspensão (MPS) em águas superficiais variam em de 5 a 50 mg L^{-1}. Como podemos observar na Tabela 1, no período não chuvoso o riacho do Meio nos pontos 1 e 2 e o riacho Santa Tereza

em todos os pontos amostrais valores de MPS estiveram acima dos valores considerados, para variações em águas superficiais segundo Sodré (2004). Esse comportamento pode ser atribuído a erosão nas proximidades dos pontos de amostragem e aos despejos dos efluentes domésticos e sanitários.

Segundo a United States Environmental Protection Agency (2015), o cloreto é um íon que pode ter origem antrópica e geológica, sendo por lixiviação das rochas, esgotos domésticos e industriais a sua principal origem (USEPA, 2015). De acordo com CETESB (2010) uma pessoa expele na urina aproximadamente 6g de cloreto por dia, o que faz com que os esgotos apresentem concentrações que podem ultrapassar a 15 mg L^{-1}. Os teores da concentrações de Cloreto ao longo do Riacho Santa Tereza no período não chuvoso variaram de 58,45 mg L^{-1} a 64,29 mg L^{-1} (Tabela 1) e no período chuvoso de 75,98 mg L^{-1} a 87,76 mg L^{-1}.

As concentrações aferidas no Riacho Bacuri foram semelhantes no período chuvoso em todos os pontos observou-se um valor de 87,67 mg L^{-1} . Já as concertações obtidas no período não chuvoso variaram de 75,89 a 87,67 mg L^{-1}. As concentrações registradas de cloreto no riacho do Meio oscilaram de 87,67 mg L^{-1}ª 93,52 mg L^{-1} no período não chuvoso e no período chuvoso de 111,05 a 122,74 mg L^{-1}.

Macêdo (2002) afirma que cloretos são encontrados em águas naturais em níveis baixos (7,5 mg L^{-1}). Nota-se os valores se encontram em níveis bem inferiores aos máximos permitidos pela Resolução Nº 357/05 do CONAMA onde os valores máximos são de até 250 (mg L^{-1}). No entanto, os altos valores de cloreto encontrado em todos os corpos hídricos são indicadores da contribuição dos esgotos domésticos e sanitários na água.

A alcalinidade de uma água é a medida da sua capacidade de neutralizar ácidos ou absorver íons de hidrogênio sem mudança significativa do pH. A água apresenta alcalinidade devido a presença de hidróxido, carbonato e principalmente a bicarbonatos produzidos pela ação do gás carbônico dissolvido na água sobre rochas calcárias**.** No riacho Bacuri os valores obtidos no período não chuvoso variaram de 120 a 170 mg L^{-1} e no período chuvoso de 110 a 160, já para o riacho do Meio variou de 180 a 200 mg L^{-1} no período não chuvoso e de 130 e 150 no período chuvoso, os níveis altos para a alcalinidade destes corpos hídricos podem ser decorrestes de ações humanas. O riacho Santa Tereza apresentou valores de mesma magnitude nos pontos 1 e 2, no período não chuvoso e no período chuvoso de 120 ,01 mg L^{-1} e 130,00 mg L^{-1} respectivamente. A alcalinidade das águas de região urbanizadas pode apresentar valores significativos principalmente em águas que recebem efluentes domésticos principalmente grandes quantidades de detergentes e produtos de limpeza.

Índices de qualidade de água

Os índices de qualidade de água em geral são formas de avaliar os impactos causados pela interferência humana, pela sua utilidade simplificada torna-se uma forma

bastante utilizada para demostrar de forma fácil a real situação de um corpo hídrico. Ao longo dos anos a poluição em corpos hídricos vem sendo discutida pela magnitude em danos causados em ambientes aquáticos influenciado de forma direta efeitos negativos para a natureza e a humanidade ligados ao índice de qualidade de água.

Segundo Leite *et al*. (2003), no Brasil, "morrem 29 pessoas ao dia por doenças decorrentes da qualidade da água e do não tratamento de esgotos" e estima-se que "cerca de 70 % dos leitos dos hospitais estejam ocupados por pessoas que contraíram doenças transmitidas pela água". Cerca de 80% das enfermidades no mundo são contraídas devido à água poluída (Leite *et al*., 2003). Devido a estes e outros fatos é que o uso de análise do índice de qualidade de água vem crescendo ao logo dos anos.

Nas Figuras 2 estão representados os valores de IQA_b para os três pontos amostrados nos corpos hídricos estudados. O índice de qualidade da água para o Riacho Bacuri (Figura 2) manteve-se em uma faixa aceitável com um leve aumento no índice de qualidade de água no período chuvoso em relação ao período não chuvoso. O aumento dos valores de IQA_b durante o período chuvoso pode ser atribuído, provavelmente, ao efeito de diluição que ocorreu em função do aumento de vazão do curso de água e a consequentemente a redução do poluente e contaminantes esse mesmo comportamento foi observado por Molina *et al*. (2006).

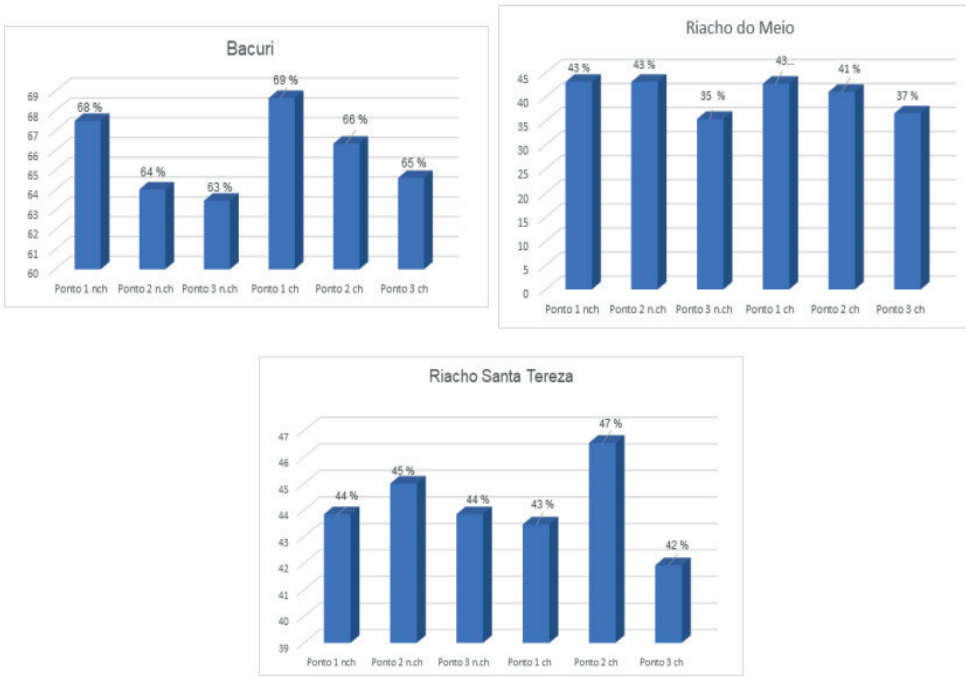


Figura 2. Índices de qualidade de água dos riachos Bacuri, Santa Tereza e do Meio.

Fonte: Autores (2018).

O Riacho Santa Tereza manteve-se em um nível impróprio com uma diminuição leve no índice de qualidade de água no período não chuvoso em relação ao período chuvoso com exceção do ponto 2 onde houve um pequeno aumento no índice de qualidade de água. Dos corpos hídricos investigados o Riacho do Meio foi o que obteve os piores valores para os IQA água variado de desagradável para impróprio esse comportamento deve estar diretamente ligado as condições dos pontos de coletas que são mais afetados pelos lançamentos de efluentes domésticos e sanitários que proporcionam a redução dos valores de IQA_b (Figura 2).

Dos corpos hídricos investigados o riacho do Meio foi o que obteve os piores valores para os IQA água variado de desagradável para impróprio esse comportamento deve estar diretamente ligado as condições dos pontos de coletas que são mais afetados pelos lançamentos de efluentes domésticos e sanitários que proporcionam a redução dos valores de IQA_b (Figura 2).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As variações observadas para as variáveis físico-químicas, têm influência da sazonalidade e localização dos pontos de amostragem indicando alterações na qualidade da água e essas alterações ocorrem em virtude de ações antrópicas tais como: os despejos de resíduos domésticos e sanitários líquidos, deflúvio superficial urbanos, assoreamento, disposição inadequada de resíduos sólido e erosão do solo. O estudo sobre a qualidade das águas dos três corpos hídricos investigados demonstra que os principais contaminantes têm origem principalmente nas formas de poluição devido a efluentes domésticos, sanitário, deflúvio superficial urbano e erosões.

Os resultados obtidos demonstram uma fonte alteração pontual nos valores do IQA_b durante período chuvoso. Uma campanha de conscientização aliada a uma readequação das instalações de esgoto e galerias pluviais e fluviais, poderia resolver o problema, de degradação dos corpos hídricos urbanos da cidade de Imperatriz-MA, pois diminuiria a quantidade de resíduos depositados diretamente no corpo hídrico, sem o devido tratamento.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão – FAPEMA pela concessão da bolsa de pesquisa. Ao Laboratório de Cartografia da UEMASUL – LabCarE na elaboração da representação cartográfica.

REFERÊNCIAS

ALBERTO, A.; RIBEIRO FILHO, B.G. (2012) Influência do despejo de esgoto doméstico nas características limnológicas do rio Camandocaia, bacia hidrográfica do rio Piracicaba, Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 34, n. 2, p. 173-179.

BRAGA, Benedito. et al. **Introdução à Engenharia Ambiental**. Belo Horizonte: Prentice Hall, 2003.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. (2004) Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo. Disponível em: < http://www.mpsp.mp.br/portal/page/ portal/cao_urbanismo_e_meio_ambiente/biblioteca_virtual/bv_ informativos_tecnicos/Relat%C3%B3rio%20Anual.pdf>. Acesso em: 03 fev. 2018.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB (2010) Variáveis da qualidade da água. Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/109-variaveis-dequalidade-das-aguas Acesso em 10 mar. 2018.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n° 357/05**. Estabelece a classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional. Brasília, SEMA, 2005.

ESTEVES, F. **Fundamentos de limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 826 p.

FIORUCCI, A. R.; BENEDETTI FILHO, E. A importância do oxigênio dissolvido em ecossistemas aquáticos. **Química Nova na Escola**, v. 22, p. 10-16, 2005.

GOUVEIA, R, L.; SELVA. Gestão para a conservação das águas: o estudo de caso do Riacho Parnamirim (Pernambuco). **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v.9, n.2. p.091-108, 2021.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo 2022. Imperatriz-MA: IBGE, 2022.

JORDÃO, C. P.; SILVA, A.C.; PEREIRA, J.L.; BRUNE, W. Contaminação por cromo de águas superficiais proveniente de curtumes em Minas Gerais. **Química Nova**. v.22, n.1, p. 47-52, 1999.

LEITE, M. O.; ANDRADE, N. J.; SOUZA, M. R.; FONSECA, L. M.; CERQUEIRA, M. M. O. P.; PENNA, C. F. A. M. **Controle de qualidade da água em indústrias de alimentos.** Leite & Derivados, v.69, p.38-45, 2003.

LIU, W.; ZHAN, J.; ZHAO, F.; YAN, H.; ZHANG, F.; WEI, X. Impacts of urbanizationinduced land-use changes on ecosystem services: A case study of the Pearl River Delta Metropolitan Region, China. **Ecological Indicators**, v. 98, p. 228-238, 2019. https://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.10.054.

MACÊDO, J. A. B. **Métodos Laboratoriais de Análise-Físico-Químicas & Microbiológico ÁGUAS & ÁGUAS**. Juiz de Fora: Jorge Macedo, 2002. 300 p.

MIZUTORI, I.S.; DA SILVA, L.P.; CORRÊA, S.M. **Caracterização da qualidade das águas fluviais em meios Peri-urbanos**: O caso da bacia hidrográfica do Rio Morto – RJ. Dissertação de Mestrado. 162 pg. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2009.

MOLINA, P. M.; HERNANDEZ, F. B. T.; VANZELA, L. S. Índice de qualidade de água na microbacia degrardada do Córrego Água da Bomba-município de Regente Feijó-SP. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM-CONRID**,** 26, 2006. Goiânia. **Anais**...Goiânia, 2006. CD-ROM

NASCIMENTO, B. L.M.; GOMES, D. R. C. S.; COSTA. G. P.; ARÚJO, S. S.; SANTOS, L. C.; OLIVEIRA, J. D. Comportamento e avaliação de metais
potencialmente tóxicos (Cu (II), Cr (III), Pb(II) e Fe(III)) em águas superficiais dos Riachos Capivara e Bacuri Imperatriz-MA, Brasil. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 20, n. 3, p. 369-378, 2015.

OLIVEIRA, J. D. **Espécies metálicas no Ribeirão Lavapés, Botucatu-SP: estudos envolvendo a distribuição de Cu, Zn, Pb, Ni, Fe, Mn e Cr em amostras de água e sedimentos.** 2006. 166 f. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Química, Araraquara, 2006.

PALÁEZ-RODRIGUEZ, M.; PERET, A.; MTSUMURA-TUNDIS, T.; ROCHA, O. Análise da qualidade da água e aplicação do índice de proteção da vida aquática (IVA) em duas sub-bacias da bacia hidrográfica do rio Jacré-Guaçu.In: ESPÍNDOLA, E. L. G. REBOUÇAS, R. (Org.). 2002. **Águas doces no Brasil**: capital ecológico, uso e conservação. 2.ed. São Paulo, Escrituras. 704p.

PIÑEIRO DI BLASI, J. I.; MARTÍNEZ TORRES, J.; GARCÍA NIETO, P. J.; ALONSO FERNÁNDEZ, J. R.; DÍAZ MUÑIZ, C.; TABOADA, J. Analysis and detection of outliers in water quality parameters from 'different automated monitoring stations in the Miño river basin (NW Spain). **Ecological Engineering,** v. 60, p. 60–66, 2013. http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.07.054

RIZZI, N.E Índices de qualidade de água **Sanare**, v.15, n.15, p .11-20,2001.

Fundação de Estudo e Pesquisa em Medicina Veterinária e Zootecnia, 2002. 265p.

SANTOS, C.L.; XAVIER, M. R.R.; CORREA, D. N.; PEREIRA JUNIOR, A. Aplicação do índice de qualidade da água no rio Ipixuna e avaliação das condições de balneabilidade com a percepção ambiental dos usuários. **Research, Society and Development**, v.10, n.4, p.1-20, abr. 2021

SILVA, A. E. P.; ANGELIS, C. F.; MACHADO, L. A. T.; WAICHAMAN, A.V. Influência da precipitação na qualidade da água do Rio Purus. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 4, p. 733- 742. 2008. http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672008000400017

SODRE, F. F.; PATRICIO, G.; ZAMORA, P.; GRASSI, M. T. Digestão fotoquímica assistida por microondas, de águas naturais aplicação em estudos de partição e especiação de cobre. **Química Nova**, v. 27, n. 5, p. 695-700, 2004.

SZYMANSKA, M.; BURANDT, P.; BAKOWSKA, M.; SOWINSKI, P.; MROZINSKA, N.; OBOLEWSKI, K. Long-term effects of hydromorphological Stream estoration on changes in microhabitats of Ephemera Danica (Ephemeroptera) and its population. **Ecological Indicators**, v. 109, 105810, 2020. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105810.

UNITED STATES. Environmental Protection Agency - USEPA. **Secondary maximum contaminant levels**: a strategy for drinking water quality and consumer acceptability. 2015. Disponível em: http://www.waterrf.org/PublicReportLibrary/4537.pdf. Acesso em: 12 de março de 2020.

CAPÍTULO 7

USO E OCUPAÇÃO DO SOLO PELA SILVICULTURA DO EUCALIPTO NA AMAZÔNIA MARANHENSE: AVANÇOS SOBRE O MUNICÍPIO DE AÇAILÂNDIA, MARANHÃO, BRASIL

Data de aceite: 01/09/2023

Allison Bezerra Oliveira
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
https://orcid.org/0000-0003-0320-5661

José Sérgio de Jesus Salles
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
https://orcid.org/0000-0002-6154-973X

Diego Armando de Sousa Paz
Universidade Estadual do Maranhão
https://orcid.org/0000-0001-7360-6554

Paulo Ricardo Schwingel
Universidade do Vale do Itajaí
https://orcid.org/0000-0002-1810-9528

Rafael de Oliveira Araújo
Universidade Federal de Jataí
https://orcid.org/0000-0003-2346-7407

Weverton Pereira Rodrigues
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
https://orcid.org/0000-0002-9137-474X

José Geraldo Pimentel Neto
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
https://orcid.org/0000-0002-7484-8755

RESUMO: O artigo tem como principal objetivo analisar o avanço da silvicultura do eucalipto e as dinâmicas no uso e ocupação do solo no município de Açailândia, Maranhão, Brasil. Metodologicamente utilizou-se enquanto recorte espacial o município de Açailândia – MA, onde a pesquisa foi dividida em duas etapas: a primeira relativo à fundamentação teórica e busca por dados secundários para sistematização de gráficos oriundos de sites como Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ) e o Mapbiomas. Já a segunda etapa refere-se à produção cartográfica, utilizando como ferramenta o Sistema de Informação Geográfica (SIG) Arcgis 16.1, e ao trabalho de campo, no qual foram visitadas fazendas de eucalipto, com a finalidade de coleta de dados por meio de acervo fotográfico. Os resultados obtidos apontam que o rápido avanço da monocultura de eucalipto no município de Açailândia, no qual requer recursos ilimitados de terra e recursos naturais, vem ao longo dos últimos anos incorporando vastas áreas de terra, e paralelamente a esse processo, está a diminuição da vegetação nativa do município e a diminuição de áreas para produção de culturas tradicionais da região.

PALAVRAS-CHAVE: Silvicultura do eucalipto. Uso e ocupação do solo. Açailândia.

LAND USE AND OCCUPATION BY EUCALYPTUS FORESTRY IN THE MARANHÃO AMAZON: ADVANCES IN THE MUNICIPALITY OF AÇAILÂNDIA, MARANHÃO, BRAZIL

ABSTRACT: The article's main objective is to analyze the advancement of eucalyptus forestry and the dynamics of land use and occupation in the municipality of Açailândia, Maranhão, Brazil. Methodologically, the study focused on the municipality of Açailândia - MA, which was divided into two stages: the first stage involved theoretical foundations and the search for secondary data to systematize graphs from sources such as the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE), Brazilian Tree Industry (IBÁ), and MapBiomas. The second stage involved cartographic production using the Geographic Information System (GIS) ArcGIS 16.1 as a tool, as well as fieldwork, which included visits to eucalyptus farms to collect data through a photographic collection. The results indicate that the expansion of eucalyptus monoculture in the municipality of Açailândia, which requires unlimited land and natural resources, has incorporated vast areas of land in recent years. In parallel with this process, there has been a decrease in native vegetation in the municipality and a reduction in areas for traditional crop production in the region.
KEYWORDS: Eucalyptus forestry. Land use and occupation. Acailândia.

1 | INTRODUÇÃO

Com mais de 730 espécies, o gênero *Eucalyptus* tem sua origem na Austrália e em outros países da Oceania. Sua introdução no Brasil não tem uma data definitiva, todavia, de acordo com a Embrapa (2014) foi com Joaquim Francisco de Assis Brasil que ocorreram os primeiros plantios no país em 1868, no estado do Rio Grande do Sul isso para fins ornamentais.

Entretanto, a introdução do eucalipto no Brasil para fins comerciais se dá de fato no início do século XX onde a Companhia Paulista de Estradas de Ferro (CPEF) decide construir uma base florestal de eucalipto para atender suas necessidades de postes e dormentes para suas ferrovias além de utilizar essa base para produção de combustível para as locomotivas (RODRIGUES *et al*., 2021).

Em 1903, o engenheiro agrônomo Edmundo Navarro de Andrade é contratado para o cargo de diretor do Horto Florestal de Rio Claro da CPEF no qual realizou uma série de experimentos e estudos comparativos no desenvolvimento de essências florestais indígenas e exóticas de valor econômico, os resultados desses experimentos apontaram vantagens em relação ao cultivo do eucalipto o que fez a CPEF já em 1909 adquirir mais de 3 mil hectares de terras em Rio Claro, São Paulo (Rodrigues *et al.*, 2021; Antonangelo; Bacha, 1998).

De acordo com Rodrigues *et al.* (2021) a partir desse período foram construídos mais 17 hortos florestais no estado de São Paulo, vários em antigas fazendas de café, em que

cafezais eram mantidos para custear parte das plantações florestais, sendo substituídos na proporção em que as áreas de eucalipto avançavam. Tal dinâmica fez com que, em 1917 já houvesse uma plantação de 2.720.400 árvores de eucalipto. De acordo com Antonangelo e Bacha (1998) esse valor quase que quadruplica, em 1924, onde a CPEF já possuía nove propriedades agrícolas com o cultivo de eucalipto, ao longo de suas linhas férreas e distribuídas de acordo com a necessidade de combustível.

Todavia, é após a década de 1950 que as áreas de eucalipto no Brasil tomam grandes proporções, uma vez que o eucalipto passa a ser utilizada como principal matéria-prima para produção de celulose, iniciativa essa oriunda da então Companhia Suzano Papel e Celulose (Antonangelo; Bacha, 1998).

Desse modo, o implemento do eucalipto como principal matéria-prima, no setor de papel e celulose e até mesmo siderúrgico do país, fez com que se iniciasse uma nova etapa de territorialização dessa monocultura. Também é a partir desse período que o Estado veio a influenciar sobremaneira nesse processo de territorialização do eucalipto com seus programas e políticas de incentivos fiscais voltadas para o reflorestamento (Campos; Foelkel, 2016; Rodrigues *et al.*, 2021).

Oliveira, Paz e Silveira (2020) enfatizam que a Lei nº 5.106 de 1966 influenciou no avanço das áreas de eucalipto, uma vez que essa lei concedia incentivos fiscais para esse tipo de produção ocasionando assim aumento da área de plantio de 500 mil para 3 milhões de hectares, iniciando, assim, o cultivo do eucalipto em escala econômica.

De acordo com Antonangelo e Bacha (1998, p. 214) essa nova etapa da silvicultura, com os incentivos fiscais, é caracterizado pela evolução do reflorestamento brasileiro, com resultado no aumento das áreas de eucalipto. “Nesta fase, houve o aumento da atividade empresarial na silvicultura, o aumento do número de profissionais vinculados à silvicultura, grande evolução da ciência florestal e grande crescimento da área reflorestada no Brasil”.

Nesse contexto, relacionado a essa nova fase da atividade florestal no Brasil, que é caracterizada pela intervenção estatal, surgem iniciativas significativas para o setor florestal, tais como a implementação de programas relevantes como o Programa de Incentivos Fiscais ao Florestamento e Reflorestamento (PIFFR), o Programa de Reflorestamento de Pequenos e Médios Imóveis Rurais (Repemir), o Programa Nacional de Celulose, e o Programa de Siderurgia a Carvão Vegetal (Antonangelo; Bacha, 1998; Oliveira; Paz; Silveira, 2020).

De acordo com Antonangelo e Bacha (1998) apesar dessas áreas de eucalipto se concentrarem na região Sul e Sudeste, a partir da década de 1970 e 1980 influenciado por políticas de desenvolvimento econômico oriundos do Estado e também pela nova conjuntura econômica global marcada pela nova reestruturação produtiva e pela doutrina neoliberal, essas áreas de reflorestamento com o eucalipto englobam novos espaços a exemplo das regiões Norte e Nordeste.

No Maranhão, a introdução e expansão do eucalipto está diretamente ligada ao

Projeto Grande Carajás (PGC), implementado no estado do Pará no início da década de 1980. O PGC inclui a construção de um amplo corredor de exportação conhecido como Estrada de Ferro Carajás (EFC), que conecta a cidade de Parauapebas, no Pará, ao Porto do Itaqui, em São Luís, capital do Maranhão. Essa importante linha ferroviária possibilitou o desenvolvimento de iniciativas voltadas para a produção de ferro-gusa no município maranhense de Açailândia (Oliveira; Paz; Silveira, 2020).

Desse modo, "o complexo siderúrgico iniciou, conjuntamente com a então Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), a construção de área plantada de eucalipto para alimentar os fornos industriais". Ou seja, a introdução do eucalipto no Maranhão inicialmente teve como finalidade atender a demanda energética das guseiras instaladas no município de Açailândia (Oliveira; Paz; Silveira, 2020, p. 08).

Em 1992 foi criado um projeto de criação de uma indústria de celulose no Maranhão denominada Celmar, a especulação da construção dessa indústria acarretou sobremaneira o avanço das áreas de eucalipto no Maranhão e também em estados vizinhos como Tocantins e Pará. De acordo com Matias (1992) essa indústria tinha como um dos objetivos ampliar ainda mais as áreas de eucalipto na região, sobretudo na microrregião de Imperatriz onde o município de Açailândia estava inserido.

Todavia, com a privatização da CVRD e a dificuldade de liberação de todos os fundos necessários para a instalação industrial, em 1997 esse projeto não é concretizado no estado o que fez com que boa parte do eucalipto já plantado retornasse como fonte energética para as guseiras em forma de carvão vegetal. Dessa forma, entre os anos de 1986 ao ano 2000 a produção de carvão vegetal no estado do Maranhão se manteve estável entre 100 e 200 mil toneladas, tendo um pico de crescimento de 2000 a 2007 isso motivado pelo cancelamento do projeto Celmar (IBGE, 2020; Oliveira; Pereira; Gonçalves, 2022).

Entretanto, a partir de 2007 agora motivado pela instalação da indústria Suzano Papel e Celulose S/A em Imperatriz – MA no ano de 2008, essa produção de carvão vegetal cai novamente, uma vez que, o eucalipto agora tem novamente como finalidade servir como matéria-prima a produção de celulose. A partir de então a produção de carvão vegetal começou a diminuir e em 2017 voltou à média produtiva de 100 mil toneladas (Franklin, 2008; Oliveira; IBGE, 2020; Pereira; Gonçalves, 2022).

Assim, a Suzano Papel e Celulose S/A influenciada pela existência de plantios de eucalipto na região, veio a se instalar no município de Imperatriz comprando terras pertencentes a agora Vale (antiga CVRD) terras essas que antes iriam servir de base florestal para a extinta Celmar (Oliveira; Paz; Silveira, 2020).

Além disso, outros fatores foram importantes para a implementação da indústria Suzano no estado entre elas estão: grande disponibilidade de terras e mão de obra baratas, infraestrutura de escoamento para a produção (Estrada de Ferro Carajás e Rodovia BR-010) e riqueza de recursos hídricos (rio Tocantins e seus afluentes), todas essenciais

para a instalação da indústria na região. Desse modo, a empresa deu um novo destino ao eucalipto da região: a produção de pasta de celulose (Oliveira; Pereira; Gonçalves, 2022).

O gráfico 1 vem destacar o avanço das áreas de eucalipto no estado do Maranhão. Observa-se que entre os anos de 2006 a 2021 houve um crescimento de 93.285 para 286.931 hectares respectivamente, ou seja, um aumento de aproximadamente 207% das áreas destinadas ao eucalipto no estado.

Entre 2008, início da construção da fábrica, e 2013, início das produções e exportações da pasta de celulose, houve uma apropriação de mais de 100 mil hectares de área plantada de eucalipto que é resultado de compras, parcerias e arrendamentos de fazendas. De acordo Oliveira, Pereira e Gonçalves (2022) esse processo estagnou entre os anos de 2014 a 2019 isso consequência a expansão dessas áreas de eucalipto nos estados do Tocantins e Pará.

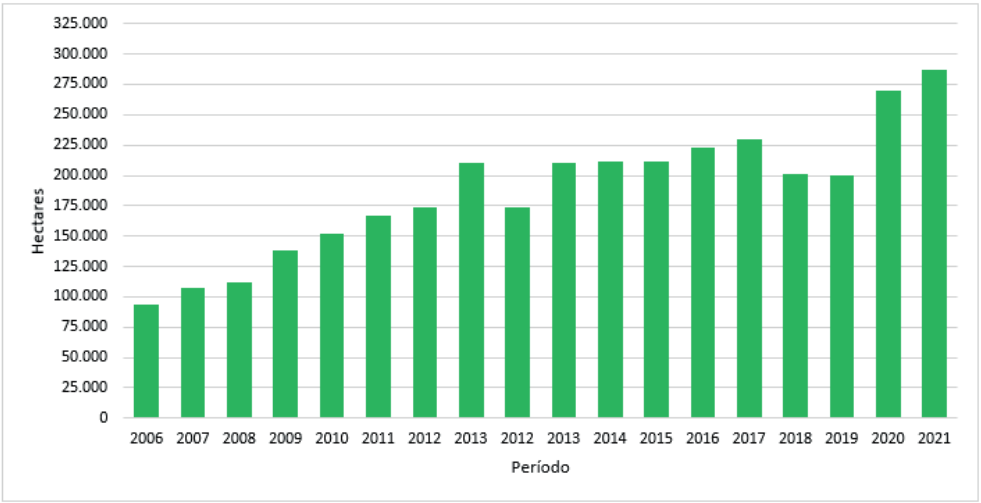


Gráfico 1 - Áreas de eucalipto no Maranhão em hectares (2006-2019).

Fonte: IBÁ (2022), organizado pelos autores (2023).

Desse modo, essa territorialização das áreas de eucalipto no Maranhão, vinculadas às transformações na força de trabalho e no uso e ocupação do solo, vem contribuindo para uma reestruturação produtiva resultando assim em uma especialização produtiva dos territórios do estado, o que vem gerar impactos tanto socioeconômicos quanto ambientais (Oliveira, 2019; Oliveira, Pereira; Gonçalves, 2022).

A partir desse contexto, o artigo tem como principal objetivo analisar o avanço da silvicultura do eucalipto e as dinâmicas no uso e ocupação do solo no município de Açailândia, Maranhão, Brasil. Metodologicamente utilizou-se enquanto recorte espacial o município de Açailândia – MA, com a pesquisa sendo dividida em duas etapas: a primeira

relativo à fundamentação teórica e busca por dados secundários para sistematização de gráficos e a segunda referente a produção cartográfica e ao trabalho de campo, no qual foram visitadas fazendas de eucalipto, com a finalidade de coleta de dados por meio de acervo fotográfico.

2 | METODOLOGIA

Metodologicamente, utilizou-se enquanto recorte espacial de pesquisa o município de Açailândia no estado do Maranhão (Figura 1). Esse recorte justifica-se pelo fato de, historicamente, o município ser a "porta de entrada" do eucalipto no estado, além de ser "palco" de um expressivo avanço dessa monocultura nas últimas décadas.

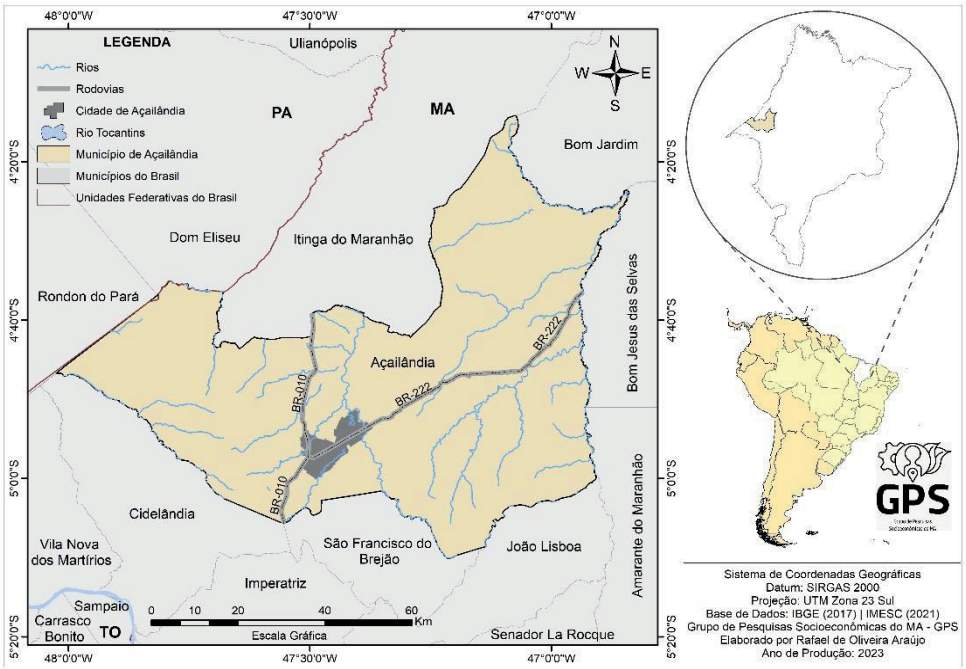


Figura 1. Município de Açailândia – MA (Recorte espacial da pesquisa).

Fonte: Autores (2023).

Nesse sentido, a pesquisa foi dividida em duas etapas, sendo a primeira relativo à fundamentação teórica e busca por dados secundários para sistematização de gráficos, utilizando como fontes de coleta de dados o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ) e o Mapbiomas. Já a segunda etapa refere-se à produção cartográfica, utilizando como ferramenta o Sistema de Informação Geográfica (SIG) Arcgis 16.1, e ao trabalho de campo, no qual foram visitadas fazendas de eucalipto, com a finalidade de coleta de dados por meio de acervo fotográfico.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

O processo de povoamento e ocupação do município de Açailândia é marcada por dois momentos distintos: o primeiro ainda como povoado do município de Imperatriz-MA antes da década de 1980, em que economicamente as atividades que predominavam era a agricultura, pecuária, extração de minérios e a exploração de madeira. Enquanto, o segundo momento está relacionado com a emancipação do município em 1981 e a introdução de indústrias siderúrgicas no município influenciados pela EFC (Belfort, 2016).

A instalação dessas indústrias siderúrgicas provocou transformações consideráveis no espaço e no território desse município, uma vez que, proporcionou o aumento do comércio, além de provocar mudanças na infraestrutura do município. Harvey (2003) afirma que o capital tem a capacidade de moldar e reconfigurar os espaços urbanos e rurais, isso, para atender às necessidades de acumulação de capital, fato esse que ocorreu com o município de Açailândia com a introdução das indústrias siderúrgicas.

Essa nova dinâmica do município após a chegada das siderúrgicas e das implementações de políticas de desenvolvimento e integração da Amazônia oriental brasileira, possibilitaram que ocorresse uma especialização produtiva na região que por sua vez acarretou transformações significativas no uso do solo do município. Dentre as atividades atreladas ao uso do solo no município está a inserção da silvicultura do eucalipto (Belfort, 2016; Oliveira, 2019).

A territorialização do eucalipto no município desde a década de 1980 vem possibilitando, historicamente, o fomento do capital produtivo no município, ou seja, o eucalipto tem sido umas das matérias-primas necessárias para que as indústrias do município pudessem se consolidar. Para Saquet (2007) a territorialização, é baseado em uma de estratégias de domínio e controle, numa área delimitada, especialmente, pela atuação do Estado e do capital, que condiciona comportamentos através da comunicação e de relações de poder, ou seja, essas indústrias no município influenciadas por políticas estatais e dependentes de recursos ilimitados de terra (Becker, 1998) vem dominando e controlando vastas áreas de terras em Açailândia.

Apesar da Celmar na década de 1990 ter motivado o crescimento de grandes áreas de eucalipto para suposta produção de celulose no Maranhão, foi com a implementação da indústria Suzano Papel e Celulose S/A no município de Imperatriz-MA em 2008 que o processo de avanço do eucalipto no município de Açailândia se intensificou tomando novas proporções. A partir disso, essa grande indústria do setor de celulose veio a comprar e arrendar fazendas no município para a produção de eucalipto, consolidando o eucalipto como um dos principais usos do solo dentro do município de Açailândia (Oliveira, 2019).

De acordo com Oliveira, Paz e Silveira (2020) o processo de territorialização do eucalipto sobre a região vem ocasionando transformações no espaço rural não apenas sob o aspecto da modificação da cobertura vegetal, mas, também, modifica aspectos

relacionados à produção de atividades tradicionais no campo (Figura 2).

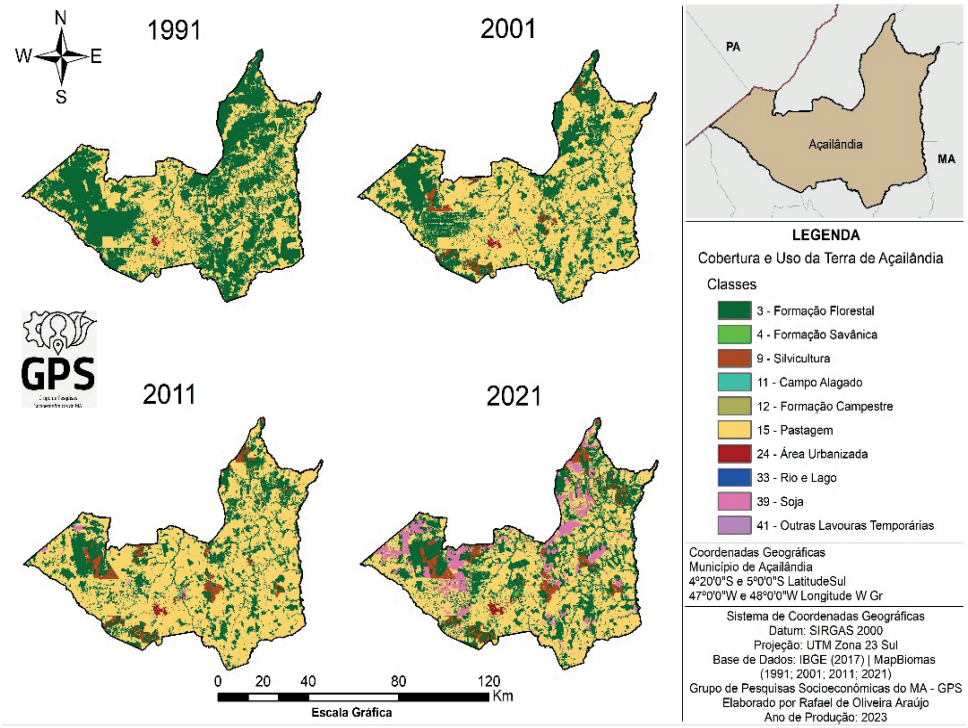


Figura 2 - Uso e ocupação do solo em Açailândia-MA.

Fonte: Autores (2023).

Na figura 2, percebe-se que as áreas que antes eram ocupadas por florestas, passam, ao longo das últimas décadas, a dar lugar a usos do solo vinculados ao grande capital como a monocultura do eucalipto e da soja, além da pecuária que, historicamente, é uma das principais atividades econômicas tanto do município de Açailândia quanto do Sul do estado do Maranhão. Neste sentido, justifica-se a expansão do eucalipto em áreas já antropizadas pela pecuária, pela produção agrícola tradicional e pelas áreas de vegetação nativa.

O gráfico 2 vem demonstrar a expansão da monocultura do eucalipto no município de Açailândia entre os anos de 2013 a 2021, onde houve um crescimento de 33.682 para 47.815 hectares respectivamente, ou seja, um crescimento de aproximadamente 42%. Dentro desse período há destaque para o ano de 2016 com 50.723 hectares, o que representou cerca de 8,73% referente ao total da área do município que é de 580.600 hectares.

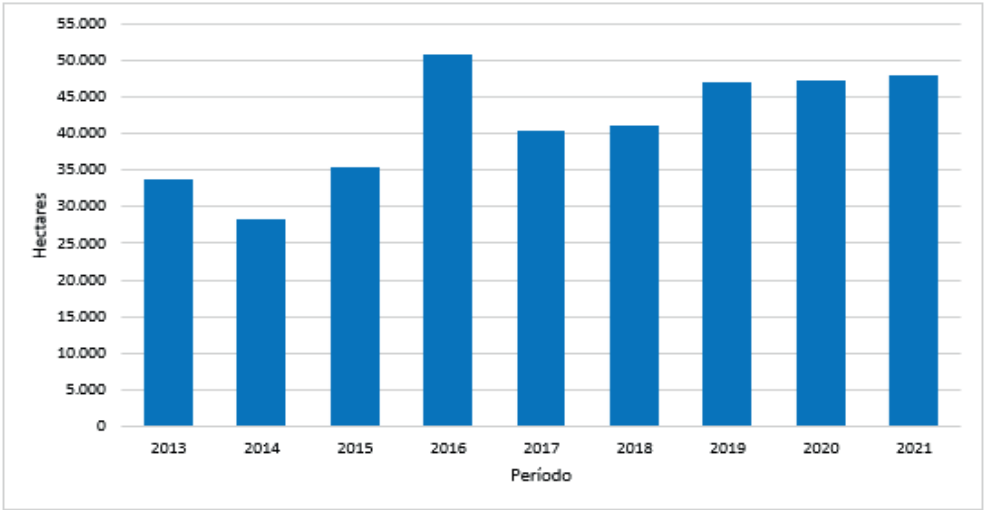


Gráfico 2 – Avanço das áreas de eucalipto no município de Açailândia-MA em hectares (2013-2021).

Fonte: IBGE (2022), organizado pelos autores (2023).

O avanço da monocultura de eucalipto para a produção de papel e celulose e carvão vegetal (Gráfico 2), vem provocando impactos no território do município de Açailândia, isso, nas mais diversas dimensões, como uso e exploração da água e dos recursos naturais como a vegetação nativa. Conforme vai sendo construído novos territórios desses grandes empreendimentos florestais, a floresta e os demais bens da natureza sofrem um intenso processo de exploração, expropriação e extermínio, transformando vegetação nativa em imensas áreas de monocultivo denominados de “deserto verde” (Lima *et al*, 2016; Oliveira, 2019).

Para isso o gráfico 3 vem destacar o declínio da vegetação nativa no município de Açailândia. Observa-se que desde 1985 - década de implantação das políticas de desenvolvimento e integração da Amazônia oriental que culminou no surgimento de indústrias siderúrgicas no município - a uma queda nas áreas de floresta, caindo de 350.151 hectares em 1985 para 168.973 hectares em 2020, ou seja, uma diminuição de aproximadamente 51,75%. Vale ressaltar que além da monocultura do eucalipto como uso do solo requerer pilhagem ilimitada de terra (Becker, 1988) na região, o município também conta com a soja enquanto outra monocultura que está em constante expansão.

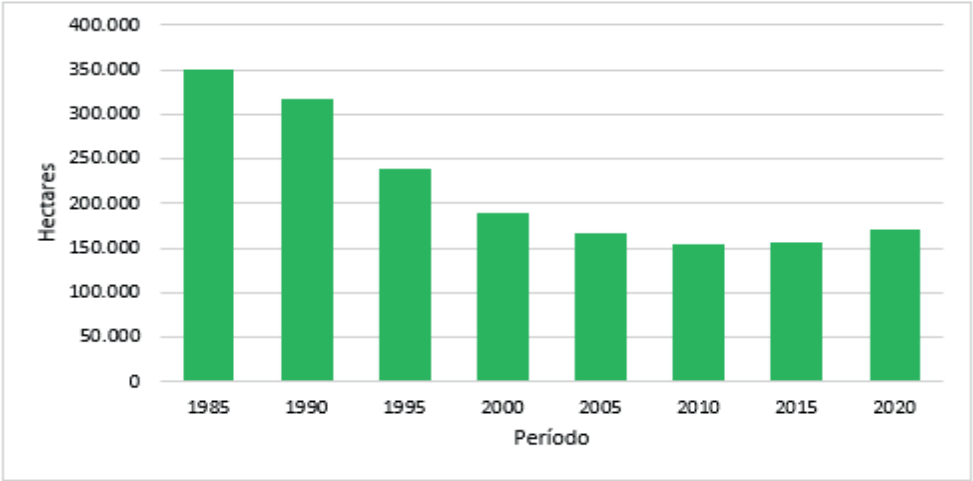


Gráfico 3 – Áreas com floresta no município de Açailândia-MA em hectares (1985 – 2020).

Fonte: Mapbiomas (2021), organizado pelos autores (2023).

A monocultura do eucalipto pode causar impactos ambientais, tanto positivos quanto negativos. A exemplo dos impactos positivos tem-se os plantios desenvolvidos em áreas degradadas, como os solos de baixa fertilidade, também na presença de erosão ou em áreas de pastagens. Já os negativos são referentes a retirada de água do solo, tornando o balanço hídrico deficitário, com o rebaixamento do lençol freático e até o secamento de nascentes, o empobrecimento de nutrientes no solo, bem como seu ressecamento assim como a desertificação de amplas áreas, e por consequência uma redução drástica da fauna e flora (Vital, 2007).

Acompanhando o processo de queda nas áreas de floresta no município (Gráfico 3) está também a queda na produção agrícola com as principais atividades tradicionais da região: arroz, feijão e mandioca. Ao observar o gráfico 4, nota-se que o município de Açailândia foi um grande produtor de arroz, feijão e mandioca dentro do estado do Maranhão.

Todavia, a produção dessas culturas vem perdendo áreas nas últimas décadas. De 1988 a 2020 a produção de arroz teve uma perda de 11.800 para 99 hectares respectivamente, um percentual de 99,16%. Já no mesmo período de 1988 a 2020, a produção de feijão também obteve uma queda, partindo de 832 para 182 hectares, ou seja, uma queda de 78,13% de área para produção nesse período. Por fim, a Mandioca, bastante utilizada para produção de farinha, entre 1988 a 2020 teve uma queda de 1.146 para 53 hectares respectivamente.

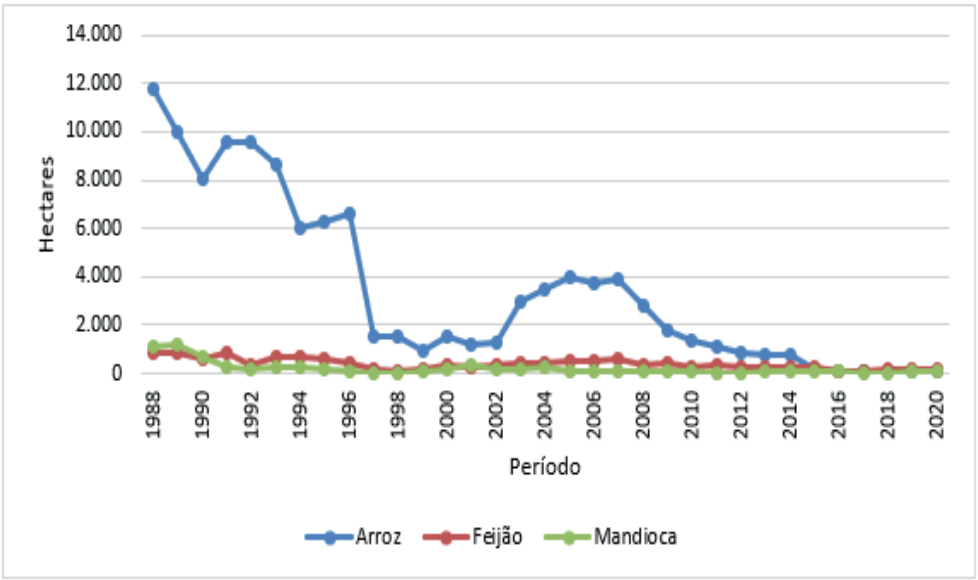


Gráfico 4. Produção das principais culturas da lavoura temporária no município de Açailândia -MA em hectares (arroz, feijão e mandioca).

Fonte: IBGE (2021), organizado pelos autores (2023).

Entretanto, embora os dados apresentados (Gráfico 4) não estabeleçam uma ligação direta entre a queda na produção agrícola e a expansão do cultivo de eucalipto, uma vez que há diversos fatores que influenciam essas questões - crédito agrícola, migração do campo para a cidade, redução da produtividade das famílias no campo, diminuição da posse da terra, desapropriação devida a grilagem, especulação imobiliária e crescimento urbano - é fundamental ressaltar que o aumento das áreas destinadas ao plantio de eucalipto coincide com a redução da produção agrícola das quatro principais culturas plantadas no estado: arroz, feijão e mandioca (Oliveira; Paz; Silveira, 2020).

Na Figura 3, são apresentados dois dos principais tipos de uso da terra em Açailândia, que são o cultivo de eucalipto e a produção de milho. Observa-se que as áreas agrícolas com o milho, em destaque, coexistem com plantações de eucalipto, evidenciando uma disparidade entre a extensão das plantações e a falta de terras disponíveis para pequenos agricultores.



Figura 3. Produção agrícola e fazendas de eucalipto no município de Açailândia-MA.

Fonte: Autores (2023).

Dessa forma, essas dinâmicas no uso do solo, tanto pelo grande capital como pelas atividades agrícolas tradicionais do município, permite a análise geográfica a apreender não só a materialidade técnica e seus arranjos espaciais, como também o plano das ações, dos objetos, da política, das intencionalidades, da produtividade, da circulação e das transformações socioeconômicas no bojo das modernizações das economias de escala, ou seja, a introdução do grande capital no município de Açailândia nas últimas décadas acarretou mudanças significativas quanto ao uso do solo, além de propiciar reorganizações espaciais para atender o grande capital (Santos; Silveira, 2001; Harvey, 2003; Oliveira, 2019).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A introdução do grande capital no município de Açailândia a partir da década de 1980, sobretudo, com os grandes empreendimentos siderúrgicos vinculados à produção da monocultura do eucalipto, criou novas condições de uso e ocupação do solo no município. Em conjunto com a soja, outra grande monocultura no município, a produção do eucalipto no qual requer um recurso ilimitado de terra e recursos naturais, vem ao longo dos últimos anos incorporando vastas áreas de terra. Paralelamente a esse processo, está a diminuição da vegetação nativa do município, além da diminuição das áreas para produção de culturas tradicionais da região.

Nesse sentido, essas transformações resultantes do modo de produção capitalista, que impõe novos usos ao território, têm o poder de modificar as relações dos indivíduos com o espaço, redefinindo antigas formas e funções espaciais e introduzindo novas dinâmicas

de poder no território, além disso, essas práticas capitalistas também possibilita mudanças no quesito ambiental provocando alterações referente a fauna e a flora da localidade.

REFERÊNCIAS

ANTONANGELO, A.; BACHA, C. J. C. As Fases da Silvicultura no Brasil. **Revista Brasileira de Economia**, Rio de Janeiro v. 52 n. 1, p. 207-238, 1998. Disponível em: https://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rbe/article/view/721. Acesso 01 de junho de 2023.

BECKER, B. K. Significância contemporânea da fronteira: uma interpretação geopolítica a partir da Amazônia brasileira. *In*: AUBERTIN, C. (org.). **Fronteiras**. Brasília: Editora da UnB; Paris: ORSTOM, 1988. p. 60-89.

BELFORT, G. dos S. **A dinâmica socioespacial recente do município de Açailândia - MA**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Socioeconômico) Universidade Federal do Maranhão, 2016. Disponível em: https://tedebc.ufma.br/jspui/bitstream/tede/1489/2/GilsonSantosBelfort.pdf. Acesso em 06 de julho de 2023.

CAMPOS, E. da S.; FOELKEL, C. **A evolução tecnológica do setor de celulose e papel no Brasil**. São Paulo: ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel, 2016. Disponível em: https://www.celso-foelkel.com.br/artigos/2017_Livro_EvolucaoTecnologica_Celulose_Papel_Brasil.pdf. Acesso 01 de junho de 2023.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Transferência de tecnologia florestal**: cultivo de eucalipto em propriedades rurais. Brasília, 2014. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/121607/1/Apostila-Serie-TT-Eucalipto.pdf. Acesso 01 de junho de 2023.

FRANKLIN, A. **Apontamentos e fontes para a história econômica de Imperatriz**. Imperatriz: Ética, 2008. Disponível em: https://periodicos.ufba.br/index.php/geotextos/article/download/26988/17137. Acesso em 05 junho de 2023.

HARVEY, D. **O novo imperialismo**. Editora: Loyola, São Paulo, Brasil, 2003.

IBÁ - INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. Relatório de produção da silvicultura no Brasil. São Paulo: IBÁ, 2022. Disponível em: https://www.iba.org/. Acesso em: 10 junho de 2023.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção extrativista e da silvicultura no Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020.

Disponível em: https://www.ibge.gov.br/. Acesso em 05 de junho de 2023.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção extrativista e da silvicultura no Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

Disponível em: https://www.ibge.gov.br/. Acesso em 01 de julho de 2023.

IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA**. Levantamento sistemático da produção agrícola**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/. Acesso em 06 de julho de 2023.

LIMA, A. R.; *Et al.* Impactos da monocultura de eucalipto sobre a estrutura agrária nas regiões norte e central do espírito santo. **Revista NERA**, Presidente Prudente, v. 19, n. 34, 2016. Disponível em: https://revista.fct.unesp.br/index.php/nera/article/view/4977. Acesso em 10 julho de 2023.

MAPBIOMAS. **Plataforma de uso e cobertura**. 2021. Disponível em: https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/. Acesso em 01 de julho de 2023.

MATIAS, M. **A implantação da indústria de celulose no Maranhão**: Celmar na região Tocantina. Belém: Seminário Consulta Carajás, 1994. Disponível em: https://acervo.socioambiental.org/acervo/documentos/implantacao-da-industria-de-celulose-no-maranhao-celmar-na-regiao-tocantina. Acesso 03 de junho de 2023.

OLIVEIRA, A. B. Indústria de celulose e o avanço da silvicultura do eucalipto na fronteira agrícola da Amazônia maranhense. **Geosul**, Florianópolis, v. 34, n. 71, p. 301-327, abr. 2019. Disponível em: https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/view/1982- 5153.2019v34n71p301. Acesso em 10 julho de 2023.

OLIVEIRA, A. B.; PAZ, D. A. de S.; SILVEIRA, K. C. da. Expansão da silvicultura do eucalipto e transformações no uso da terra em municípios do oeste maranhense. **Rev. InterEspaço**, Grajaú, v. 06, p. 01-24, 2020. Disponível em: http://periodicoseletronicos.ufma.br/index.php/interespaco/article/view/14148. Acesso 02 de junho de 2023.

OLIVEIRA. A. B.; PEREIRA, A. M.; GONÇALVES, L. F. L. Expansão do eucalipto e transformações na estrutura produtiva da pequena propriedade rural em municípios do norte da microrregião de Imperatriz, Maranhão, Brasil. **Revista NERA**, v. 25, n. 62, p. 179-201, 2022. Disponível em: https://revista.fct.unesp.br/index.php/nera/article/view/8518. Acesso 05 de junho de 2023.

RODRIGUES, G. S. de S. C.; *et al.* **Eucalipto no Brasil**: expansão geográfica e impactos ambientais. Uberlândia: Composer, 2021. Disponível em: http://www.lapea.ig.ufu.br/sites/lapea.ig.ufu.br/files/files/anexos/EUCALIPTO%20NO%20BRASIL_0.pdf. Acesso 01 de junho de 2023.

SANTOS, M.; SILVEIRA, M. L. **O Brasil**: território e sociedade no início do século XXI. Rio de Janeiro: Record, 2001.

VITAL, M. H. F. Impactos Ambientais da Floresta do Eucalipto. **Revista do BNDS**, Rio de Janeiro, v. 14, N. 28, P. 235-276, dez. 2007. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/12554. Acesso 10 julho de 2023.

CAPÍTULO 8

ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO USO E COBERTURA DA TERRA EM SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS DO RIO TOCANTINS, MARANHÃO

Data de aceite: 01/09/2023

Maria Eduarda Pinheiro Bertolino
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
Imperatriz – Maranhão
https://orcid.org/0000-0002-8287-0602

Alana Franco Zanini
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
Imperatriz – Maranhão
https://orcid.org/0009-0008-8920-1381

Ana Carolina de Araújo Mourão
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
Imperatriz – Maranhão
https://orcid.org/0009-0001-3856-8609

Marcelo Francisco da Silva
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
Imperatriz – Maranhão
https://orcid.org/0000-0002-9148-6725

Allison Bezerra Oliveira
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão UEMASUL
Imperatriz – Maranhão
http://orcid.org/0000-0003-0320-5661

Wilson Araújo da Silva
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, Centro de Ciências Agrárias
Imperatriz – Maranhão
https://orcid.org/0000-0003-4549-6815

Aichely Rodrigues da Silva
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
Imperatriz – Maranhão
https://orcid.org/0000-0001-9447-2380

RESUMO: O uso e a ocupação da terra promovem deterioração nas bacias hidrográficas urbanas que modificam as características físico-químicas e ambientais. Esta pesquisa objetivou analisar a qualidade ambiental na escala espaço-temporal das mudanças do uso da terra em sub-bacias hidrográficas do Rio Tocantins, no município de Imperatriz-MA, entre os anos de 1990 e 2020. A pesquisa delimita o recorte espacial de três sub-bacias do rio Tocantins, a saber: Bacuri, Cacau e Capivara, que drenam o perímetro urbano de Imperatriz. Para isso, foi utilizado o Sistema de Informações Geográficas (SIG), como o QGIS, e a métrica de análise da paisagem pelo *Landscape Ecology Statistics* (LecoS). No período amostral dessa pesquisa, as sub-bacias demonstraram em todos os

cenários redução da formação florestal e da formação savânica. Enquanto na sub-bacia do Cacau houve o aumento de 29,2% dos mosaicos de agricultura e pastagem. As sub-bacias do Bacuri e Capivara apresentaram de 70% a 80% do território ocupado pela urbanização desordenada. Os dados fornecem informações sobre a qualidade ambiental das sub-bacias e podem ter importância para pesquisas futuras e na gestão desses corpos d'água.
PALAVRAS-CHAVE: Qualidade ambiental. Uso e cobertura da terra. *Landscape Ecology Statistics* (LecoS).

SPACE-TEMPORAL ANALYSIS OF LAND USE AND COVER IN TOCANTINS RIVER SUB-BASINS, MARANHÃO

ABSTRACT: Land use and occupation promote deterioration in urban watersheds that modify physical-chemical and environmental characteristics. This research aimed to analyze the environmental quality in the spatio-temporal scale of changes in land use in watersheds of the Tocantins River, in the municipality of Imperatriz-MA, between the years 1990 and 2020. The research delimits the spatial cut of three sub-basins of the Tocantins River, namely: Bacuri, Cacau and Capivara, which drain Imperatriz's urban perimeter. For this, the Geographic Information System (GIS) was used, such as QGIS, and the landscape analysis metric by Landscape Ecology Statistics (LecoS). In the sample period of this research, the sub-basins showed in all scenarios a reduction in forest formation and savanna formation. While in the Cacau sub-basin there was an increase of 29.2% in the mosaics of agriculture and pasture. The Bacuri and Capivara sub-basins showed 70% to 80% of the territory occupied by disorderly urbanization. The data provide information about the environmental quality of the sub-basins and may be important for future research and management of these water bodies.
KEYWORDS: Environmental quality. Land use and land cover. Landscape Ecology Statistics (LecoS).

INTRODUÇÃO

O uso e a ocupação da terra promovem deterioração da qualidade ambiental nas bacias hidrográficas urbanas que modificam as características físico-químicas não só dos corpos d'água, mas também do seu entorno. O crescimento urbano do município de Imperatriz-MA e da região tocantina maranhense, tal qual acontece em diversas cidades brasileiras, tem produzido inúmeros problemas socioambientais, tais como: deslizamentos, alagamentos, inundações, poluição das águas, dentre outros. Esses fatores contribuem para um ambiente degradado, que nas condições atuais da cidade tendem a piorar. Esse processo não está sendo contido, mas ampliado à proporção que o limite da mancha urbana aumenta.

Nas sub-bacias hidrográficas do rio Tocantins, no município de Imperatriz-MA, o que se pode observar na atualidade é a acentuada modificação antrópica. As sub-bacias hidrográficas analisadas neste estudo se constituíram, no passado, em fontes disponíveis de água, porém o crescimento urbano as degrada. As principais formas de agressão das águas superficiais das sub-bacias do rio Tocantins, no município de Imperatriz, se dão

através de despejos de esgotos *in natura* e de resíduos sólidos (Sousa, 2016).

Para a compreensão dos impactos socioambientais sofridos pelas sub-bacias, foi realizada a análise da paisagem. Para Bertrand (2004), em relação às unidades de paisagem, no caso da análise da bacia hidrográfica, pode-se considerar a paisagem como uma porção do espaço que resulta na combinação dinâmica e instável entre os elementos físicos, biológicos e resultantes da ação do homem. As análises ambientais e a integração de características físicas, econômicas e sociais permitem assinalar categorias de identificação e avaliação de impactos ambientais. Com isso, a utilização do Sistema de Informações Geográficas (SIG), como o QGIS, e a métrica de análise da paisagem, pelo *Landscape Ecology Statistics* (LecoS), contribuem na análise das modificações das paisagens em escala espaço-temporal.

A presente pesquisa teve como objetivo utilizar as geotecnologias para análise espaço-temporal das mudanças do uso e da cobertura da terra em sub-bacias hidrográficas do rio Tocantins, no município de Imperatriz-MA. Ademais, a pesquisa buscou determinar as unidades de paisagem e comparar as mudanças ocorridas ao longo de trinta anos (de 1990 a 2020). Pretende-se que esta pesquisa contribua para a gestão dos recursos hídricos, além de incentivar ações para a melhoria das condições ambientais das áreas analisadas. Considerando tudo isso, a pesquisa buscou refletir sobre os cursos d'água que temos e os que queremos, além dos impactos socioambientais gerados e suas consequências para o bem-estar da população.

METODOLOGIA

As sub-bacias hidrográficas do rio Tocantins analisadas foram as dos riachos Bacuri, Cacau e Capivara. Para a pesquisa foram necessárias as seguintes metodologias: revisão bibliográfica, estudo de caso, utilização de técnicas de geoprocessamento e métrica de paisagem.

Área de estudo

A pesquisa delimita o recorte espacial de três sub-bacias do rio Tocantins, que drenam o perímetro urbano de Imperatriz-MA (Figura 1). A região analisada pertence à grande bacia hidrográfica do Araguaia-Tocantins, que possui a rede de drenagem de 991,095 km e área total de 1.368,988 km², além de densidade demográfica de 180,8 hab./km². Todas as sub-bacias se encontram no perímetro urbano de Imperatriz-MA, exceto a sub-bacia do Cacau, que se distribui nos municípios de Imperatriz, Buritirana, Davinópolis, Governador Edson Lobão e Senador La Roque, no Maranhão. Os municípios se localizam na Região Geográfica Intermediaria de Imperatriz, Maranhão, e fazem parte da bacia hidrográfica do rio Tocantins.

A geomorfologia corresponde a uma área de depressão do médio vale do rio

Tocantins, de relevo de superfície aplainada e de rede de drenagem de baixa densidade. Seu tipo de solo predominante é o latossolo, caracterizado pelo seu avançado estágio de intemperização, além do argissolo. A economia se destaca no setor de serviços, seguido do setor agrícola e industrial (IMESC-MA, 2021).

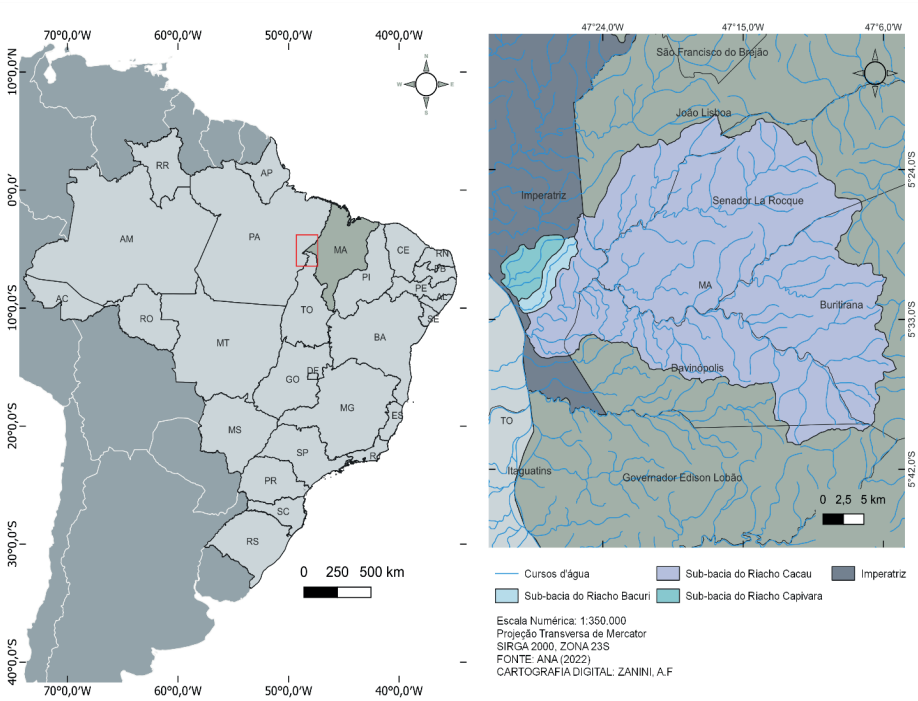


Figura 1. Localização das áreas de estudos das sub-bacias hidrográficas dos riachos Bacuri, Cacau e Capivara, Maranhão.

Fonte: Autores (2023).

A sub-bacia do riacho Bacuri localiza-se na cidade de Imperatriz e possui área de cerca de 17,8 km², percorrendo o município por dezessete bairros. A sub-bacia do Riacho Cacau abrange, além de Imperatriz, outros municípios no estado do Maranhão, a saber: Buritirana, Davinópolis, Governador Edson Lobão e Senador La Roque, com área de cerca de 938,7 km². Para Silva, Silva e Santos (2014), a sub-bacia do Rio Cacau sofre com o avanço da mancha urbana, atrelado à falta de saneamento básico, além das enchentes constantes que causam à população a perda de bens materiais. Já a sub-bacia do Riacho Capivara está situada no perímetro urbano, drenando dez bairros. Essa bacia possui 29 km², e o rio principal possui cerca de 9,8 km.

O Mapbiomas é um projeto interinstitucional que efetua o mapeamento de uso e cobertura da terra do território brasileiro. Nesta pesquisa, utilizaram-se as imagens dos

anos 1990 e 2020. Vale destacar que esse período escolhido representa o marco histórico e econômico do desenvolvimento de Imperatriz, que se iniciou em 1950, passando pelo ciclo do arroz, ciclo da madeira e ciclo do ouro. Contudo, na década de 1990 houve um aumento do comércio de mercadorias e de serviços. Já nos anos 2000 ocorreu a vinda das indústrias. Imperatriz se destaca como o segundo maior centro econômico e populacional do estado do Maranhão nos setores de pecuária, agricultura, extrativismo vegetal, comércio, indústria e serviços.

A identificação das unidades de paisagem para a análise da mudança temporal utilizou o *plugin Landscape Ecology Statistics* (*LecoS*), no *software* QGIS 3.14 Pi π. O *LecoS* é capaz de calcular, de forma automatizada, as métricas básicas e avançadas de paisagem com dados de sensoriamento remoto (JUNG, 2016). As classes identificadas nas sub-bacias foram: formação florestal, formação savânica, mosaico de agricultura e pastagem, área não vegetada (solo exposto) e área urbanizada. Foi ainda calculado o índice de diversidade Shannon das espécies vegetais analisadas basearam-se em a fórmula, conforme Kaufmann e Pinheiro (2009):

$$H' = -\sum pi.Log2\ pi. \qquad \text{Eq.1}$$

Em que: pi - ni /N, ni - número de indivíduos de cada espécie; N - número total de indivíduos da amostra. O resultado foi expresso em bit.ind^{-1}, considerando-se os seguintes critérios: ≥ 3,0 bits.ind^{-1} representa uma alta diversidade; < 3,0 a ≥ 2,0 bits.ind^{-1} representa uma média diversidade; <2,0 a ≥ 1,0 bits.ind^{-1} representa uma baixa diversidade e <1,0 bits. ind^{-1} representa uma diversidade muito baixa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta pesquisa, o período amostral de 1990 e 2020 retratou que as sub-bacias hidrográficas têm suas classes predominantes e que, no decorrer dos anos, o tamanho das áreas de ocupação dessas classes sofreu mudanças, sendo que algumas expandiram e outras retraíram (Tabela 1).

		1990		2020		Diferença (1990 – 2020)
	Unidade de Paisagem	**Área (km²)**	**Percentual (%)**	**Área (km²)**	**Percentual (%)**	**Percentual (%)**
Sub-bacia do Riacho Bacuri	Formação Florestal	1,33	7,2	0,5	2,6	- 4,6%
	Formação Savânica	0,3	1,5	0,2	0,9	- 0,6%
	Índice Shannon	0,9		0,6		
	Mosaico de Agricultura e Pastagem	6,0	32,6	2,2	12,0	-20,6%
	Área não vegetada (solo exposto)	0,03 0,2		0,02	1,3	1,1%
	Área Urbanizada	10,8	58,4	15,3	83,1	24,7%
Sub-bacia do Riacho Cacau	Formação Florestal	667,8	71,6	380,3	40,3	-31,3%
	Formação Savânica	22,3	2,3	25,2	2,7	0,4%
	Índice Shannon	1,2		0,6		
	Mosaico de Agricultura e Pastagem	223,9	23,6	498,9	52,8	29,2%
	Área não vegetada (solo exposto)	4,4	0,5	6,0	0,6	0,1%
	Área Urbanizada	17,8	1,9	32,9	3,5	1,6%
Sub-bacia do Riacho Capivara	Formação Florestal	3,7	12,9	2,0	7,0	5,9
	Formação Savânica	0,4	1,5	0,5	1,8	0,3%
	Índice Shannon	1,0		0,8		
	Mosaico de Agricultura e Pastagem	6,5	22,4	4,7	16,2	-6,2%
	Área não vegetada (solo exposto)	0,1	0,4	0,3	1,2	0,8%
	Área Urbanizada	18,2	62,8	21,3	73,6	10,8%

Tabela 1. Evolução do uso, ocupação e cobertura da terra e percentual de paisagem nas sub-bacias hidrográficas dos riachos Bacuri, Cacau e Capivara, no Maranhão.

Fonte: Autores (2023).

A sub-bacia do riacho Cacau, na Tabela 1, em 1990, foi a que apresentou a maior área de formação florestal, o que representou 71,6% (677,8 km²). Por outro lado, em 2020 passou para 40,3% (380,3 km²), isto é, uma redução de 31,3% nessa unidade de paisagem no período de 30 anos (Figura 2). O índice de diversidade de *Shannon* na sub-bacia do Cacau foi de 1,2 bits.ind^{-1} (em 1990) baixa diversidade para 0,6 bits.ind^{-1} (em 2020) muito baixa. Com o menor percentual de formação florestal temos a sub-bacia do Bacuri que, em 1990, foi de 7,2%, e em 2020 passou para 2,6%. O índice *Shannon* para essa bacia representou muito baixa diversidade em 1990 e 2020, sendo 0,9 e 0,6 bits.ind^{-1}. Essa área está localizada a montante da sub-bacia, próximo ao município de João Lisboa. Na sub-bacia do Cacau está localizada a Reserva Extrativista da Mata Grande (RESEX da Mata Grande). Essa RESEX foi criada para assegurar a preservação dos babaçuais e o acesso sustentável a este e aos demais recursos naturais presentes na UC. Na pesquisa

de Masullo, Gurgel e Laques (2016), na RESEX Mata Grande entre os anos de 1990 e 2016 ocorreu a redução de cerca de 25% de floresta (babaçual e mata de galeria) e o aumento dos mosaicos de pastagens.

As sub-bacias do Bacuri e Cacau se encontram em perímetros urbanos perderam a área vegetada para a construção de obras residenciais como consequência da expansão da urbanização. Esse cenário demonstra que a sub-bacia do Riacho Bacuri sofre com o processo de urbanização ao longo do tempo. Além disso, nas sub-bacias analisadas constatou-se uma redução na área florestal devido ao avanço da fronteira agrícola na Amazônia Legal, o que provocou a mercantilização da natureza pela expropriação de recursos naturais direcionados para a produção de *commodities* agrícolas para o mercado externo, implicando pouco dinamismo regional-local (Oliveira, 2019).

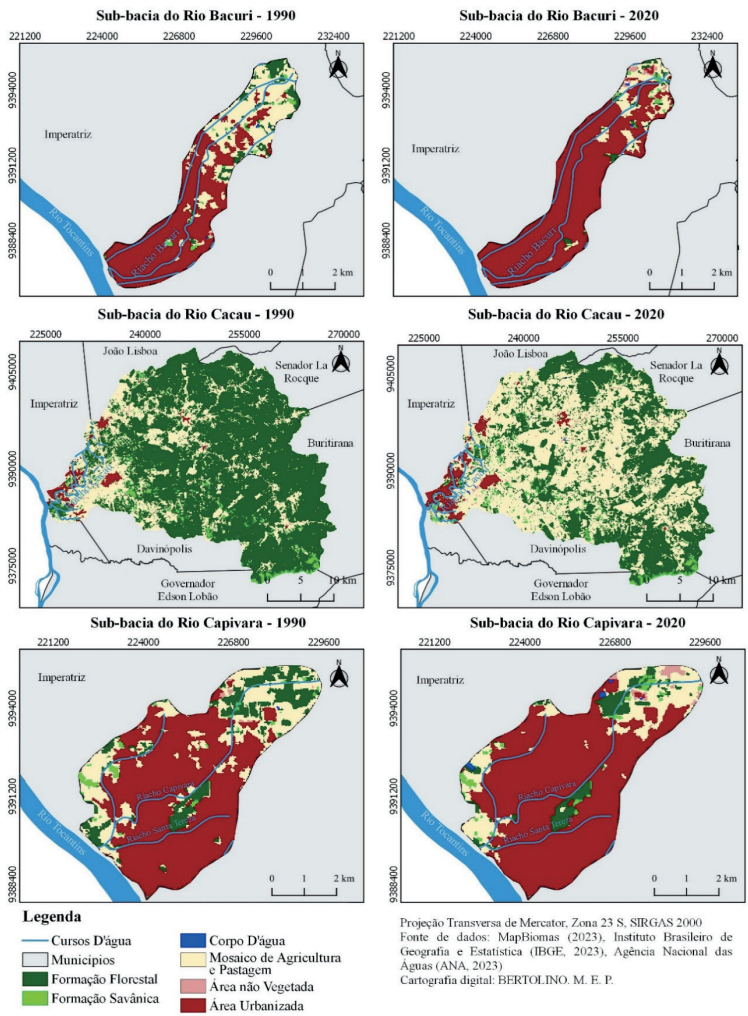


Figura 2. Uso e da cobertura da terra, nos anos de 1990 e 2020, nas sub-bacias hidrográficas dos riachos Bacuri, Cacau e Capivara, no Maranhão.

Fonte: Autores (2023).

A formação savânica foi encontrada em pequeno percentual nas sub-bacias (Tabela 1) pertencentes à área de transição com o domínio dos cerrados, caracterizados pelas suas duas estações bem definidas, uma chuvosa e outra seca. No período da pesquisa, a sub-bacia do Cacau apresentou 2,3% (22,3 km²) dessa vegetação, enquanto as bacias do Bacuri e Capivara apresentaram 1,5% em 1990. Conforme Silva e Santos (2015), na sub-bacia do Cacau, a vegetação de cerrado encontra-se a 300 m de altitude e está localizada nas proximidades das nascentes. O cerrado é um dos principais biomas maranhenses, sendo um ambiente de grande biodiversidade e favorável para a expansão da fronteira agrícola na região. Contudo, nessas localidades pode ser encontrada a vegetação secundária (vegetação que substituem a vegetação primária).

O mosaico de agricultura e pastagem é caracterizado por pastagem antrópica e/ou natural, somado às áreas de vegetação secundária de baixo porte e árvores esparsas. Nas sub-bacias, a maior redução ocorreu na sub-bacia do Bacuri, que em 1990 apresentou 32,6% (6 km²) de sua área; e em 2020, cerca de 12% (2,2 km²), configurando a urbanização dessa sub-bacia (Figura 2). Por outro lado, na sub-bacia do Cacau é crescente o avanço dos mosaicos de agricultura e pastagem: em 1990, foi de 23,6% (223,9 km²), e em 2020 representou 52,8% (498,9 km²), ou seja, um aumento de 29,2% da pastagem de caráter extensivo em trinta anos (Figura 2). Conforme o Censo Agropecuário de 2017, o número de cabeças de gado nos municípios analisados na sub-bacia do Riacho Cacau foi de 267.234, a saber: Buritirana (54.176 cabeças), Davinópolis (13.407 cabeças), Imperatriz (67.583 cabeças), João Lisboa (82.702 cabeças) e Senador La Rocque (49.366 cabeças).

Vale destacar que a pecuária causa o aumento do desmatamento e dos conflitos socioespaciais no município de Imperatriz e região. Nesse sentido, as áreas não vegetadas ou de solo exposto, nesta pesquisa, apresentaram menor percentual do uso da terra, com aumento, no período amostral, de 1,1%, 0,8% e 0,1% nas sub-bacia do Bacuri, Capivara e Cacau, nessa ordem (Tabela 1). Essas áreas das sub-bacias foram desmatadas para as práticas da pecuária e depois apresentaram-se como potenciais áreas de loteamento e de expansão das manchas urbanas. As sub-bacias que fazem limite com o município de Imperatriz se encontram em localidades com forte processo de urbanização e intenso nível de impermeabilização (Guimarães *et al*., 2019).

As áreas urbanizadas nas sub-bacias foram mais expressivas ainda em 1990 na sub-bacia do Capivara, com 62,8% (18,2 km²) da área dessa sub-bacia, e em 2020 com 73,6% (21,3 km²). Esse mesmo cenário foi encontrado na sub-bacia do Bacuri, que em 1990 comportava apenas 58,4% (10,8 km²) de área urbanizada, e em 2020 passou a comportar 83,1% (15,3 km²). Já a sub-bacia do Cacau presenciou o menor crescimento dessa unidade de paisagem: de 1,9% (17,8 km²) em 1990 para 3,5% (32,9 km²) em 2020. Para Schueler, Fraley-Mcneal e Cappiella (2009), as bacias hidrográficas com urbanização acima de 10% são consideradas impactadas. Nessa lógica, apenas a sub-bacia do Cacau não seria considerada impactada.

Também é preciso considerar que o município de Imperatriz-MA passou por um processo de ocupação irregular durante a primeira metade do século XX: a população passou de 7.889 para 14.064 habitantes. Porém, a partir da década de 1950 até os anos 2000 a população desse município ultrapassou para 230.000 habitantes (Santos; Nunes; Santos, 2020). Esse aumento, na segunda metade do século XX, demonstrou como o crescimento populacional ocorreu de forma exponencial, implicando na ocupação desordenada. O aumento desordenado da área de mancha urbana nas sub-bacias hidrográficas analisadas pode causar alteração no ciclo hidrológico pelo aumento da impermeabilização do solo, pela redução na infiltração, pelo aumento do escoamento superficial contaminado por poluentes devido ao uso do solo, tráfego na região e lançamento de efluentes domésticos nos cursos d'água. Para Pacífico Filho *et al.* (2020) as cidades médias amazônicas como Imperatriz apresentam efeitos promissores das políticas de desenvolvimento para a Amazônia; contudo os dados de saneamento básico e homicídios demonstram que os aspectos econômicos não se reverteram em bem-estar-social.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No período amostral dessa pesquisa, 1990 e 2020, as sub-bacias analisadas em todos os cenários demonstraram redução da formação florestal (áreas com predomínio do estrato arbóreo e com formação de dossel). Esse fato é corroborado pelo desmatamento, para a instauração da cultura da agropecuária representada pela classe de mosaico de agricultura e pastagem. Além da perda da vegetação nativa (floresta e savânica) e a introdução de pastagem e lavouras temporárias, também se constatou a expansão da área urbana (mancha urbana), acompanhada pelos investimentos econômicos na região.

Neste estudo, constatou-se que as sub-bacias do Bacuri e Capivara apresentam de 70% a 80% do território ocupado pela urbanização desordenada. Esse cenário pode dificultar a restauração desses cursos d'água, além de provocar impactos socioambientais como inundações, perdas econômicas e proliferação de doenças pela falta de saneamento ambiental inadequado.

Por meio da utilização da ferramenta *LecoS* foi possível determinar as unidades de paisagem e a métrica do uso e da cobertura da terra ao longo de trinta anos. Os dados fornecem informações sobre a qualidade ambiental das sub-bacias e podem ter importância para pesquisas futuras e na gestão desses corpos d'água.

AGRADECIMENTOS

Os pesquisadores agradecem ao financiamento das bolsas de Iniciação Cientifica, à Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA) e à Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL).

REFERÊNCIAS

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global. **Revista RA´E GA**, v.8, p. 141-152, 2004.

Censo Agropecuário. 2017. Disponível em: https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/pecuaria.html?localidade=21&tema=75652 . Acesso em: 23 maio 2023.

GUIMARÃES, B. R. M. L; ARAÚJO, D. S.; L. C; DOS SANTOS, B. R. (2019). Diagnóstico Ambiental da Bacia Hidrográfica do Riacho Capivara na Cidade de Imperatriz-Maranhão. **Revista FSA**, v. 16, n. 6, p. 1- 10, 2019.

INSTITUTO Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos – IMESC-MA. **Enciclopédia dos Municípios Maranhenses:** Região de Desenvolvimento do Tocantins maranhense. São Luís, v.7, 2021. Disponível em: file:///C:/Users/User/Downloads/IMESC-MA.pdf . Acesso em: 05 maio 2023.

JUNG, M. LecoS — A python plugin for automated landscape ecology analysis. **Ecological Informatics**, v. 31, pp. 18–21, 2016.

MAPBIOMAS. Disponível em: http://mapbiomas.org. Acesso em: 05 maio 2023.

MASULLO, Y. A. G.; GURGEL, H. da C.; LAQUES, A.-E. Análise espaço-temporal do uso e cobertura da terra das Reservas Extrativista da Mata Grande e Ciriaco, Maranhão. **Anais...**XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. INPE Santos-SP, 2017.

OLIVEIRA, A. B. Indústria de celulose e o avanço da silvicultura do eucalipto na fronteira agrícola da Amazônia maranhense. **Geosul**, ed. esp. Dossiê Agronegócios no Brasil, v. 34, n. 71, p. 301-327, 2019.

PACÍFICO FILHO, M.; PONTES, T. B.; PEREIRA, L. T. M.; CARDOSO, A. C. Cidades Médias na Amazônia Legal: Araguaína/TO, Imperatriz/MA e Marabá/PA – indutoras de desenvolvimento e desigualdades. **Redes - Revista do Desenvolvimento Regional**, v. 25, p. 1477-1503, 2020.

RODRIGUES, J. A. M.; VIOLA, M. R.; MELLO, C. R. de; MORAIS, M. A. V. **Hydrological regionalization of streamflows for the Tocantins River Basin in Brazilian Cerrado biome**. Rev. Ambient. Água, v. 16, n. 6, e2716, 2021.

SANTOS, R. L.; NUNES, F. G.; DOS SANTOS, A. M. Qualidade ambiental do município de Imperatriz-MA: uma análise multicritério de indicadores intra-urbanos. **Caminhos de Geografia**, v. 21, n. 78, p. 1–20, 2020.

SCHUELER, T. R.; FRALEY-MCNEAL, L.; CAPPIELLA, K. Is impervious cover still important? Review of recent research. **Journal of Hydrologic Engineering**, 14 (4), pp. 309-315, 2009.

SILVA, A. R; SANTOS, L. C. A. Análise antropogênica da bacia hidrográfica do rio Cacau-MA. **Revista GeoUECE**, v. 4, n. 6, p. 140-150, 2015.

SILVA, A. R. da. Análise da paisagem em um afluente do rio Tocantins no município de Imperatriz -MA. **Revista Contexto Geográfico**, v. *7*, n. 15, p. 134–146, 2023.

SOUSA, R. **Efeitos da expansão urbana na microbacia do Riacho Capivara, Imperatriz – Maranhão**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional). Centro Universitário Alves Faria, Goiânia - GO. 2016. 119p.

KAUFMANN, V.; PINHEIRO, A. Relações entre diversidade íctia e fatores hidrodinâmicos de um riacho na bacia do rio Uruguai. **Biota Neotrop**., v. 9, n. 1, p. 47 – 53, 2009.

CAPÍTULO 9

TRANSFORMAÇÕES NO USO E COBERTURA DA TERRA NO MUNICÍPIO DE AÇAILÂNDIA – MA

Data de aceite: 01/09/2023

Taíssa Caroline Silva Rodrigues
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
Imperatriz - Maranhão.
https://orcid.org/0000-0002-7320-2717

Helen Giovanna Pereira Fernandes
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
https://orcid.org/0009-0009-7746-4587

Eduarda Vaz Braga
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
Imperatriz - Maranhão
https://orcid.org/0000-0002-6625-1668

Ivanilde Lima Silva
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
Imperatriz - Maranhão
https://orcid.org/0009-0004-6447-0551

Isolda Cordeiro Carvalho
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
Imperatriz - Maranhão
https://orcid.org/0009-0003-5344-4609

Nivea Sousa Fonseca
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
Imperatriz - Maranhão
https://orcid.org/0009-0009-2692-9567

Jorge Diniz de Oliveira
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
Imperatriz-Maranhão
https://orcid.org/0000-0001-9421-0524

RESUMO: A Amazônia maranhense sofreu um crescimento acelerado ocorrido desde a década de 1960 quando os grandes projetos rodoferroviários (BR 010 - Belém/Brasília e Ferrovia Carajás - Carajás (PA)/São Luís (MA) e industriais (Projeto Grande Carajás) começaram a ser implantados, causando um acelerado processo de desmatamento, queimadas e construção de vilas que se tornaram cidades com atividades econômicas centrais na região. O município escolhido para este estudo foi Açailândia que está situado no bioma amazônico e passou por diversas transformações da paisagem e consequentemente do uso e cobertura da terra ao longo das décadas estudadas. O objetivo principal da pesquisa foi compreender quais foram as maiores transformações da paisagem e uso cobertura da terra do município de Açailândia nos anos de 1985, 1995, 2005, 2015 e 2021. Para alcançar o objetivo

proposto foi utilizado dados do programa MapBIOMAS, gerados a partir de imagens de satélite da família *LANDSAT* e baixados a partir do *Google Earth Engine*. Para a classificação usou-se o software livre QGIS e para a criação do gráfico o programa estatístico R. Dessa forma, pode-se constatar que a entrada de grandes projetos assim como a construção da Br 010 e 222, impulsionaram as grandes mudanças na paisagem. Açailândia perdeu uma grande parte da Floresta Primária de 1985 para o que hoje se transformou em pastagem, silvicultura e soja, mudanças que acabaram ocasionando diversos impactos ambientais, dentre eles processos erosivos complexos, que foram gerados devido a falta de cobertura vegetal. A área de estudo passa por essas modificações sem o planejamento adequado o que gera impactos à sociedade e ao ambiente. Assim a metodologia utilizada neste trabalho se mostrou suficiente para alcançar os objetivos propostos.
PALAVRAS-CHAVE: Transformações, uso e cobertura, MAPBIOMAS.

TRANSFORMATIONS IN LAND USE AND COVERAGE IN THE MUNICIPALITY OF AÇAILÂNDIA - MA

ABSTRACT: The Maranhão Amazon region experienced accelerated growth since the 1960s when major road and railway projects (BR 010 - Belém Brasília and Carajás Railway - Carajás (PA) São Luís (MA)) and industrial projects (Carajás Mining Project) began to be implemented. These developments led to an accelerated process of deforestation, wildfires, and the construction of villages that evolved into cities with central economic activities in the region. The chosen municipality for this study was Açailândia, located in the Amazon biome, which underwent several landscape transformations and consequent changes in land use and coverage over the decades under investigation. The main objective of the research was to understand what were the biggest transformations in the landscape and land cover use of the municipality of Açailândia in the years 1985, 1995, 2005, 2015 and 2021. To achieve the proposed objective, data from the MapBIOMAS program, generated from satellite images of the LANDSAT family and downloaded from *Google Earth Engine*. For the classification, the free software QGIS was used and for the creation of the graph, the statistical program R. It was found that the introduction of large projects, such as the construction of BR 010 and 222, drove significant landscape changes. Açailândia lost a considerable portion of its primary forest in 1985, which has now been transformed into pastureland, forestry, and soybean fields, leading to various environmental impacts, including complex erosive processes resulting from the lack of vegetation cover. The area under study undergoes these modifications without proper planning, which generates impacts on both society and the environment. Thus, the methodology used in this study proved to be sufficient in achieving the proposed objectives.
KEYWORDS: Transformations, Use and Coverage, MAPBIOMAS.

1 | INTRODUÇÃO

O Estado do Maranhão está em uma área de transição, entre os biomas amazônico e cerrado, configurando uma das regiões mais dinâmicas em termos ambientais do território nacional (Rodrigues, 2018). Com isso apresenta uma diversidade de características ambientais e sociais que estão relacionadas ao terreno de transição ao qual está inserido.

Essas características apresentam relação direta ao seu processo de ocupação e transformações do uso e cobertura da terra nas regiões. Um outro fator responsável pelas mudanças da sua paisagem é o desenvolvimento dos centros urbanos ao longo da história, que está relacionado com a migração da população rural para as cidades, atraídas pelas ofertas de trabalho, tanto comercial, industrial e serviços (Da Silva Júnior, 2023), o que acaba moldando os espaços ocupados e gera consequências negativas e positivas.

Na Amazônia maranhense esse crescimento ocorreu de forma acelerada ocorrido desde a década de 1960 quando os grandes projetos rodoferroviários (BR 010 - Belém/Brasília e Ferrovia Carajás - Carajás (PA)/São Luís (MA) e industriais (Projeto Grande Carajás) começaram a ser implantados, causando um acelerado processo de desmatamento, queimadas e construção de vilas que se tornaram cidades com atividades econômicas, que na maioria dos casos, são dependentes de todo esse processo de degradação (Castro; Santos, 2016).

No Maranhão, ocorreu uma expansão significativa da região conhecida como MATOPIBA, impulsionada principalmente pela produção em larga escala da soja, que foi intensificada na década de 1990 (Oliveira, 2022). O avanço da pastagem, e assim de atividades pecuárias, no estado do Maranhão teve início no século XVIII, com a ocupação dessa parte do território, nesse momento a pecuária era majoritariamente de subsistência, para dar base às expedições de reconhecimento, expansão e ocupação (Azevedo, 2022).

Atualmente, no estado, há mais de 225 mil hectares dedicados à silvicultura (IBGE, 2019). A expansão significativa ocorreu a partir da implantação da empresa Suzano Papel e Celulose no município de Imperatriz, no ano de 2008 (Oliveira, 2019). Inicialmente, o plantio de eucalipto no estado do Maranhão, especificamente em Açailândia, tinha como objetivo fornecer energia para as siderúrgicas locais, requerendo investimentos na expansão das áreas plantadas para suprir os fornos industriais (Oliveira, 2022). Essa expansão afeta não apenas pequenas propriedades de agricultura familiar, invadindo suas áreas, mas também causa impactos significativos no trabalho rural e na produção de culturas alimentares tradicionais (Oliveira, 2022).

A formação e ocupação das terras do município de Açailândia data dentre os anos de 1958 e 1960 está atrelada e vinculada aos projetos governamentais da União de ocupação populacional e posterior exploração econômica da Amazônia Oriental Brasileira e interligação rodo-ferroviária desta e demais regiões à recente capital Brasília, com a construção da BR 010 Belém-Brasília, autorizada pelo então presidente Juscelino Kubitschek através de decreto nº 43.909 (Das Chagas Sousa; Vacovski; Soares, 2017).

Para a observação, extração e análise das informações das mudanças de cobertura e uso da terra, surge, nos anos de 1960, o Sensoriamento Remoto (SR), termo cunhado no início por Evelyn L. Pruit e colaboradores, que passou a ser uma importante técnica de coleta automática de dados para o levantamento e monitoramento dos recursos terrestres em diferentes escalas de análise (Rodrigues, 2018). Os dados de sensoriamento remoto

são uma das principais fontes de informação atualmente, e os bancos de dados geográficos são integrados aos sistemas de informações geográficas para análise de vulnerabilidade de ambientes naturais e construídos (Bacani *et al*., 2015).

A caracterização da mudança do uso da terra e cobertura vegetal possibilita compreender os processos de alteração do espaço geográfico e os efeitos dessas ações no mesmo, podendo ser considerado o primeiro passo para elaboração de um trabalho de planejamento e gestão ambiental (Alves *et al.,* 2019). Portanto é interessante entendermos a conceituação dos termos "uso e cobertura da terra" que são frequentemente empregados de forma incorreta e ainda geram confusões em seu uso.

Para Prado (2009) e Novo (2010), entende-se por cobertura da terra a caracterização dos objetos da superfície terrestre em termos de suas propriedades biofísicas, físicas e químicas que exibem uma relação própria de interação energia-matéria, ou seja, ao revestimento da terra. Já o uso da terra, Jensen e Cowen (1999) definem que se refere ao modo como a terra é utilizada, ou seja, refere-se aos propósitos humanos associados àquela cobertura, por exemplo: pecuária, recreação, conservação, área residencial, área de mineração, área de extração, etc.

Diante disso, o presente capítulo tem como objetivo principal realizar uma análise multitemporal das mudanças ocorridas na paisagem e no uso e cobertura da terra, no período de 1985 a 2021 buscando correlacionar esse fenômeno espacial ao processo histórico-econômico de ocupação dessa região, por meio dos dados do programa do MAPBIOMAS e o uso de Geotecnologias.

2 | METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

O município de Açailândia teve sua autonomia política em 06 de junho de 1981, está inserido na Mesorregião Oeste Maranhense, dentro da Microrregião de Imperatriz (Figura 1). Segundo o IBGE (2022), o município apresenta uma área territorial de 5.805,159 km², com uma população de aproximadamente 106.550 habitantes e uma densidade demográfica de 18,35 hab/km². Limita-se ao Norte com o município de Bom Jardim, ao Sul com os municípios de São Francisco do Brejão e Cidelândia, a Leste com os municípios Bom Jesus da Selva, Amarante do Maranhão e João Lisboa e a Oeste com o município de Itinga do Maranhão e o estado do Pará (IBGE, 2022).

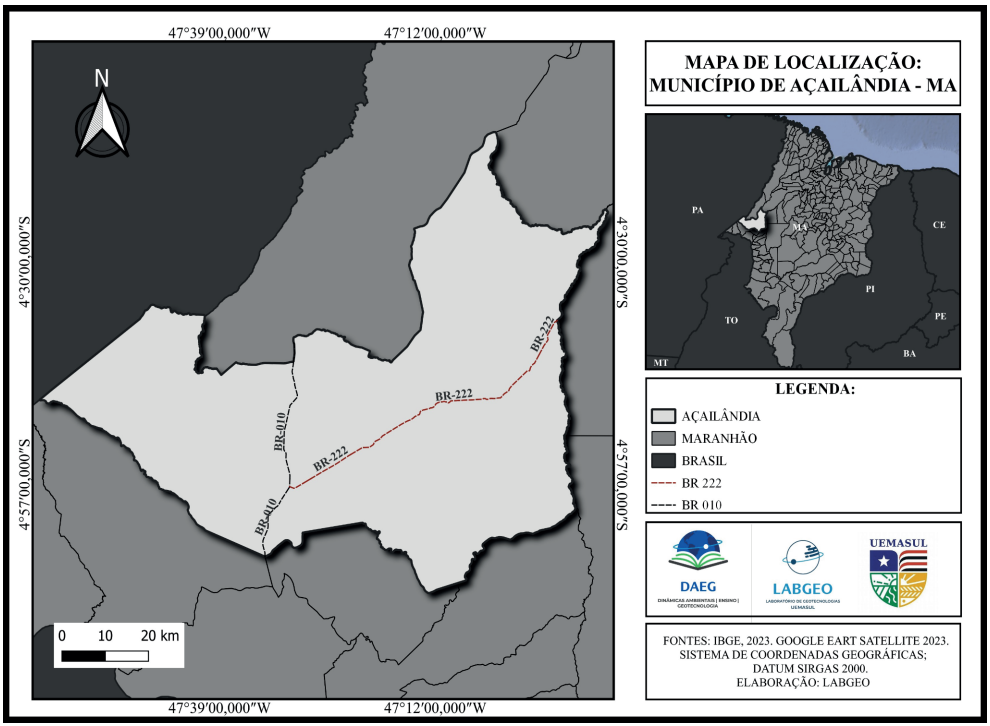


Figura 1. Mapa de localização do município de Açailândia - MA

Fonte: Autoras (2023).

Em relação aos aspectos fisiográficos do município, a altitude da sede é de 240 metros acima do nível do mar e a variação térmica durante o ano é pequena, com temperaturas que oscilam entre 21,7°C e 32,2°C. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é tropical (AW') úmido com dois períodos bem definidos: um chuvoso, que vai de novembro a abril, com médias mensais superiores a 242mm e outro seco, correspondente aos meses de maio a outubro (Feitosa; Trovão, 2006)

2.2 Procedimentos metodológicos

Para a realização desta pesquisa foram realizadas diferentes etapas. A primeira etapa compreendeu o levantamento bibliográfico, em que se levantaram conteúdos relacionados aos temas propostos no trabalho. Este levantamento foi realizado, principalmente, em artigos científicos, teses de doutorados e dissertações de mestrado, em que se tratava do município de Açailândia e da Região Metropolitana do Sudoeste Maranhense.

Na segunda etapa do trabalho, foi realizada a etapa de classificação das imagens e produção dos mapas temáticos e gráficos. Os dados de uso e cobertura foram obtidos por meio da base de dados da plataforma do MapBiomas. O MapBiomas é uma rede colaborativa,

formada por ONGs, universidades e startups de tecnologia que produz o mapeamento anual da cobertura e uso da terra e monitora a superfície de água e as cicatrizes de fogo mensalmente com dados a partir de 1985. Todos os mapas anuais de cobertura e uso da terra do MapBiomas são produzidos a partir da classificação supervisionada pixel a pixel de imagens dos satélites da família *Landsat*. O processo é realizado com extensivos algoritmos de aprendizagem de máquina (*machine learning*) por meio da plataforma *Google Earth Engine* que oferece imensa capacidade de processamento na nuvem.

Para a realização deste trabalho, os dados para a produção dos mapas de uso e cobertura da terra foram dos anos de: 1985, 1995, 2005, 2015 e 2021, este último foi escolhido por ser a coleção mais recente lançada pelo projeto. Foram adquiridos pela plataforma Google Earth Engine (coleção - 7.1, MAPBIOMAS), utilizando o script mapbiomas-user-toolkit-lulc.js gerado na linguagem javascript, que permitiu obter dados de cobertura dos municípios correspondentes da área de estudo, advindos de imagens do satélite LANDSAT com resolução espacial de 30 m.

Na última etapa, utilizou-se o software Qgis 3.28.7 para a elaboração dos mosaicos com os arquivos rasters seguindo o recorte do limite da área de estudo para cada ano. No software ArcMap 10.8, foram aplicados os cálculos de áreas em todos os mapas. Os cálculos foram aplicados em quatro etapas seguidas: a adição de campos de valores na tabela de atributo de cada mapa, a junção dos polígonos de cada classe ou unidade de feição em um só, o cálculo da área mapeada por classe/unidade e a aplicação da fórmula Área (%) = área mapeada ÷ área total*100 na álgebra de mapas, essa mesma metodologia aplicou-se em todos os mapas elaborados. Para finalizar, utilizou-se os dados de áreas para a produção dos gráficos no software R.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Até a década de 1980, Açailândia estava geograficamente e administrativamente vinculada ao município de Imperatriz, neste período, a utilização da terra estava diretamente ligada a processos econômicos, notadamente à agricultura, pecuária e exploração madeireira. Consequentemente, nesse contexto econômico específico, a região em questão exibia uma configuração territorial predominantemente rural. Porém, regiões como a de Açailândia passaram por diversos investimentos por parte do governo, que segundo de Pereira (2018) visavam povoar e urbanizar essas áreas do território nacional, para tais, foram criados meios em que o processo de urbanização se acentuou.

O processo de uso e cobertura da terra no município de Açailândia pode ser dividido em dois momentos, o primeiro se refere à fase antes da chegada das indústrias siderúrgicas, até a primeira metade dos anos de 1980. Ao passo que o segundo momento está relacionado ao período depois da instalação das siderúrgicas, após 1980. Além desse fator que influenciou no processo de transformação da paisagem do município, teve-se a

construção da Br 010 e 222, também como vetores de transformação. A Br 010 dividiu o recém-nascido município no sentido sul-norte, possibilitando à cidade se estabelecer como ponto estratégico, onde funcionaria um entroncamento rodoferroviário, responsável pelo interligamento entre os estados do Pará, Tocantins e Maranhão, e consequentemente com outras regiões do país (Pestana, 2013).

A partir do mapeamento de uso e cobertura da terra dos anos de 1985 - 1995 - 2005 - 2015 - 2021 foi possível identificar e quantificar as principais transformações ocorridas no uso e cobertura da terra em classes porcentagem e área (Figura 2) e (Tabela 1), com atividades agropecuárias, extrativistas e antrópicas. Dessa forma, foram identificadas as seguintes classificações na área de estudo: **Formação Florestal, Formação Campestre, Formação Savânica, Campo Alagado, Pastagem, Soja, Silvicultura, Rio e Lago, Outras Lavouras Temporárias e Área Urbana.**

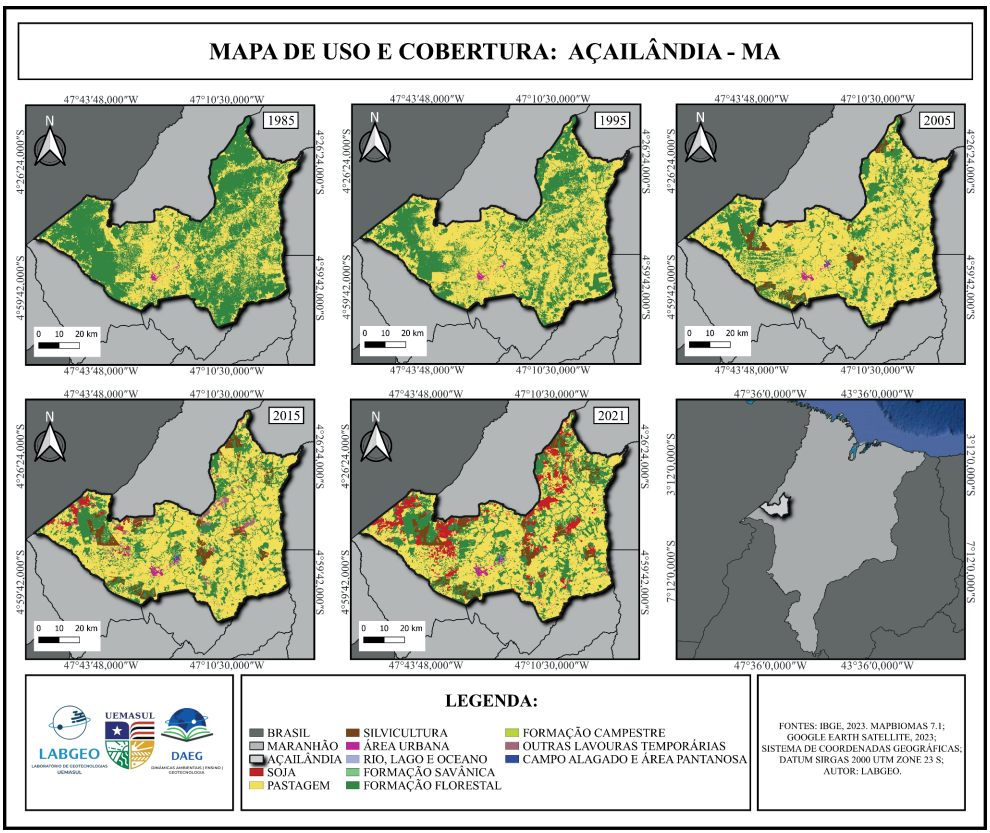


Figura 2. Mapa de Uso e Cobertura da Terra do município de Açailândia-MA.

Fonte: Autoras (2023).

A análise da figura 2 e da tabela 1, revela que em 1985 uma parcela significativa do

município era composta por extensas áreas florestais, representando mais de 50% da área total. Em contrapartida, as áreas destinadas à pastagem ocupavam cerca de 2.461,12 km², correspondendo a aproximadamente 42% do território. É relevante ressaltar que, nesse período, as áreas urbanas ocupavam aproximadamente 11,25 km². O núcleo urbano, nesse ano, estava em processo de crescimento e expansão, visto que, a cidade de Açailândia tinha passado a ser sede do então município, em 1981, a cidade foi criada devido ao crescimento econômico impulsionado pela exploração do minério de ferro na região, o que atraiu diversas empresas e trabalhadores para a área.

	Área em %				
Classes	**1985**	**1995**	**2005**	**2015**	**2021**
Formação Florestal	57,02	38,65	27,2	26,02	28,73
Formação Savânica	0,33	0,06	0,0	0,05	0,07
Silvicultura	-	0,08	2,9	4,49	4,97
Campo Alagado e Área Pantanosa	0,09	0,06	0,1	0,12	0,08
Formação Campestre	0,06	0,05	0,0	0,05	0,03
Pastagem	42,29	60,78	69,2	64,25	55,23
Área Urbanizada	0,19	0,25	0,30	0,39	0,43
Rio, Lago e Oceano	0,01	0,05	0,1	0,04	0,03
Soja	-	-	0,0	1,47	9,26
Outras Lavouras Temporárias	0,00	-	0,1	3,13	1,16
Total	**100%**				

Tabela 1. Área em porcentagem das Classes encontradas nos anos de 1985, 1995, 2005, 2015 e 2021.

Fonte: Autoras (2023).

Na década de 1980, a estrutura econômica do Sudeste do Maranhão era caracterizada por uma combinação de atividades agropecuárias, extrativistas e industriais. A região compreendia os municípios como Açailândia, Imperatriz e outras localidades próximas, que experimentaram um período de crescimento e desenvolvimento impulsionado principalmente pela exploração de recursos naturais.

A atividade agropecuária desempenhou e ainda desempenha um papel central na economia da região. A agricultura era voltada principalmente para a produção de culturas de subsistência, como mandioca, milho e feijão, destinadas ao consumo local. Além disso, a pecuária se destacava, com a criação de gado bovino para a produção de carne e leite, o que refletia nas extensas áreas destinadas a essa atividade no município.

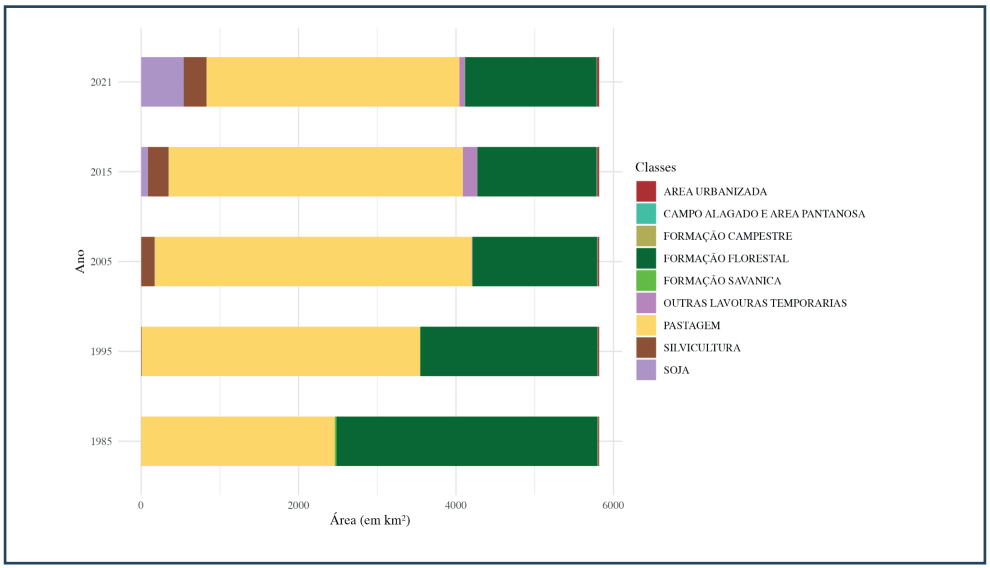


Figura 3. Gráfico de áreas de uso e cobertura da terra de 1985-2021 em %.

Fonte: Autoras (2023).

Com o decorrer dos anos, o município de Açailândia enfrentou mudanças significativas quanto ao seu modelo de produção agrícola, a substituição de uma agricultura tradicional abriu portas para a inserção de grandes áreas de pastagem, seguido da monocultura da soja. A predominância dessas duas classes, sobretudo, a pastagem, está relacionada pela frente de ocupação designada de expansão pastoril, ligada a criação bovina na qual necessitava de terras em abundância, pastos verdes e naturais.

Na década de 1990, Açailândia estava em um momento de desenvolvimento e expansão. A economia do município era fortemente baseada na mineração de ferro, com a atuação de importantes empresas do setor, como a Vale do Rio Doce, que detinha concessões de exploração mineral na região. O Sudeste do Maranhão também era marcado pela presença de indústrias, especialmente em Açailândia. A instalação da Companhia Siderúrgica do Maranhão (Cosima), na década de 1980, impulsionou a atividade industrial na região. A siderúrgica estava envolvida na produção de ferro-gusa, sendo uma das maiores produtoras do país na época.

Neste sentido, de acordo com os dados da figura 2 no ano de 1995, a classe de formação florestal declina para 31%, reduzindo sua área para 2.249,27 km², é neste período que a classe de pastagem tem um aumento significativo, passando ocupar 60% de todo o território açailandense. A agropecuária é a atividade econômica que mais causa transformações no uso e cobertura da terra na região, visto que áreas antes ocupadas por formações florestais passam a ser substituídas principalmente por pastagens e anos após silvicultura e o cultivo de soja.

Posteriormente, no ano de 2005 observa-se um padrão de redução de áreas florestais, passando a ocupar 27% com valores de áreas de 1.583,7 km², em contrapartida, a expansão de áreas de pastagem apresenta altos valores, compreendendo 4.027,9 km² ocupando 69% do território, ademais, vale ressaltar que a área urbanizada cresce para 18 km² neste mesmo período. A soja apresenta uma pequena parcela de território neste período.

No ano de 2015, é possível notar que os percentuais de área ocupada por Formação Florestal e Pastagem apresentaram pouca variação (Figura 3). A Formação Florestal representou 26% da área total do município, equivalente a 1.514,05 km², seguindo o padrão de redução de área, enquanto a Pastagem abrangeu 3.738,86 km², correspondendo a 64% do território. Embora os números tenham se mantido relativamente estáveis, a classe de Pastagem apresentou uma queda em relação ao ano anterior.

Esse declínio pode ser explicado pela intensificação do cultivo de soja na região durante esse período, ocupando aproximadamente 85,4 km², o que representa agora 1,6%. Fazendo importante também observar que a classe de Silvicultura acentua-se e passa a compreender 261,1 km², sendo 4% da área total do município. A introdução da indústria da Suzano Papel e Celulose a partir de 2009, trouxe mudanças expressivas para a região, a monocultura de eucalipto passou a dominar a paisagem, uma vez que é uma matéria-prima essencial para a produção de celulose. Isso resultou em uma necessidade crescente de áreas para o plantio do eucalipto, a fim de suprir as demandas da empresa no mercado internacional. De acordo com Oliveira et al. (2022), a inserção da atividade do eucalipto se dá principalmente pela implantação do Programa Grande Carajás, investimento da então estatal Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), iniciado em 1980.

Em consequência desses acontecimentos houve um aumento no processo de chegada de pessoas à região, a área urbanizada passou a compreender 22,94 km², assim como o aumento no processo de transformação da paisagem. Essa mudança levou, por exemplo, a um aumento no número de madeireiros na região, que agora tinham como escoar a madeira para outros lugares.

Com base nos resultados apresentados (Tabela 1), observa-se uma significativa mudança nos padrões de uso da terra em Açailândia entre os anos de 2015 e 2021. A área de Pastagem, que representava 64% da superfície total do município em 2015 (correspondendo a 3.738,86 km²), declinou para 55% em 2021, compreendendo agora 3.214,03 km². Essa redução de área é equivalente a uma diminuição de 15,38% em comparação com o período anterior.

A explicação para essa redução está relacionada à intensificação do cultivo de Soja na região. A classe de soja, que antes ocupava uma pequena parcela (0-1%) da área, experimentou um crescimento substancial. Em 2021, a plantação de soja expandiu para 9% da área total do município, o que equivale a 538,67 km² de área. De acordo com informações fornecidas pela Prefeitura de Açailândia (2023), a produção de grãos já ocupa

uma área de 78 a 80 mil hectares de soja plantada considerando a safra de 2021/2022. O baixo custo da terra tem atraído empresas de outras regiões para investir no agronegócio em Açailândia, impulsionando o crescimento da produção de grãos, principalmente soja, A plantação de soja está distribuída em várias regiões de Açailândia, com destaque para o Assentamento Sudelândia (50 BIS), Assentamento Califórnia e região do Novo Oriente, incluindo os assentamentos João do Vale, Francisco Romão, Planalto I e Planalto II, bem como na região da Reta onde estão instaladas algumas empresas

A silvicultura na região também acentua-se compreendendo cerca de 289,38 km², sendo 4% da área total do município a intensificação e expansão das áreas destinadas a plantação de eucalipto causam impactos diretos aos pequenos produtores, as extensas áreas destinadas às plantações de eucalipto ilham pequenas propriedades rurais. De acordo com Oliveira et al. (2023) a expansão da silvicultura de eucalipto tem ocasionado profundas mudanças nas áreas que, anteriormente, eram destinadas a atividades tradicionais na região. A intensificação do plantio de eucalipto tem resultado na ocupação territorial de espaços previamente utilizados por comunidades tradicionais e em regiões fronteiriças, com o propósito de atender à crescente demanda de matéria-prima para a indústria de papel e celulose.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O crescimento desordenado dos centros urbanos leva a complexas mudanças no processo de uso e cobertura da terra ao longo das décadas. A Amazônia Maranhense é um importante exemplo do crescimento de cidades sem planejamento urbano adequado e ocupação desordenada, o que leva a diferentes tipos de impactos. A partir disso, o presente trabalho buscou compreender como ocorreu o processo de mudança no uso e cobertura da terra do município de Açailândia nos anos de 1985, 1995, 2005, 2015 e 2021.

O município de Açailândia apresentou ao longo dessas décadas estudadas, vetores que intensificaram o processo de transformação, tais como: a chegada de industriais, construção de estradas, entrada de madeireiros ilegais, chegada da pecuária, silvicultura e soja, todos esses vetores foram responsáveis por alguma mudança na paisagem da região. Atualmente o município apresenta apenas 28% de Formação Florestal primária e mais de 55% de pastagem, 5 % de silvicultura e quase 10% de soja. É um dos municípios inseridos no Bioma Amazônico maranhense que mais perdeu área de floresta primária e hoje sofre com impactos ambientais como a erosão do solo devido a falta de cobertura vegetal.

A metodologia utilizada na pesquisa, dados provenientes do programa MapBiomas, foram essenciais para a obtenção dos resultados alcançados, porém, vale salientar que o MapBiomas apresenta, para grandes e médias escalas cartográficas como é o caso do estudo, alguns erros de classificação, como a própria omissão de informações ou o acréscimo de outras. Devido a isso vale ressaltar que o trabalho de campo é essencial para

a validação das próximas pesquisas na área, assim como a geração de dados primários a partir de imagens com melhores resoluções espaciais como é o caso do uso da imagem do satélite brasileiro CBERS que chega à resolução espacial de 2 metros.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Estadual da Região Tocantina do Estado do Maranhão - UEMASUL pelo apoio à pesquisa.

REFERÊNCIAS

ALVES, W. dos S. et al. Análise do uso da terra, da cobertura vegetal e da morfometria da bacia do Ribeirão Douradinho, no sudoeste de Goiás, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 3, p. 1093-1113, 2019.

AZEVEDO, T.; MATIAS, L. F. Dinâmica da alteração do uso e ocupação agrícola na amazônia maranhense: uma análise a partir de dados do Mapbiomas. **Anais...** Evento em comemoração aos 20 anos do Programa de Pós-Graduação em Geografia (IG-UNICAMP), v. 1, n. 1, p. 89-103, 2022.

BACANI, V. M. et al. Sensoriamento remoto e SIG aplicados à avaliação da fragilidade ambiental de bacia hidrográfica. **Mercator (Fortaleza)**, v. 14, p. 119-135, 2015.

CASTRO, R. A. de; SANTOS, O. C. O. S. Atividades econômicas e alterações no uso e ocupação do solo na bacia do córrego Água Branca, Açailândia (MA). **Caminhos de Geografia**, v. 17, n. 57, p. 212-221, 2016.

DA SILVA JUNIOR, O. G.; VASCONCELOS, M. A. M.; BITTENCOURT, P. C. S.; MIRANDA, L. C.; DE MELO, P. A.; DOS SANTOS, A. V. F.; MELO, K. C. P.; CECIM, L. V.; PIMENTEL, J. A. B. Uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do Rio Itaporanga – Barcarena na Amazonia Paraense. **OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA,** *[S. l.]*, v. 21, n. 6, p. 4861–4885, 2023. DOI: 10.55905/oelv21n6-090. Disponível em: https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/769. Acesso em: 21 jul. 2023.

DAS CHAGAS SOUSA, F.; VACOVSKI, E.; DA SILVA SOARES, F. Piquiá da conquista: a vitória dos de baixo contra os gigantes de ferro. **Revista Observatório**, v. 3, n. 2, p. 417-453, 2017.

PEREIRA. F. H. de J. DINAMISMO ECONÔMICO SULMARANHENSE: UMA ABORDAGEM A PARTIR DA CENTRALIDADE COMERCIAL DE AÇAILÂNDIA – MA. **Anais...** XIX Encontro Nacional de Geógrafos, João Pessoa. ISBN: 978-85-99907-08-05. 2018.

FEITOSA, A. C, e TROVÃO, J. R. **Atlas escolar do Maranhão**: espaço geohistórico e cultural. João Pessoa: Editora Grafset, 2006.

IBGE. **Censo Demográfico 2022**: Resultados Preliminares. Rio de Janeiro: **IBGE**, 2022. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/. Acesso em: 21/07/2023.

IBGE. **Produção extrativista e da silvicultura no Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/. Acesso em: 09/07/2023.

JENSEN, J. R.; COWEN, D. C. Remote sensing of urban/suburban infrastructure and socio-economic attributes. **Photogrammetric engineering and remote sensing**, v. 65, p. 611-622, 1999.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 4 Ed. revista e ampliada São Paulo: Blucher, 2010. 367 p

OLIVEIRA, A. B. Indústria de celulose e o avanço da silvicultura do eucalipto na fronteira agrícola da Amazônia maranhense. **Revista Geosul**, v. 34, n. 71, p. 301 - 327, abr. 2019.

OLIVEIRA, A. B.; DE SOUSA PAZ, D. A.; DE JESUS SALLES, J. S.; SCHWINGEL, P. R.; PIMENTEL NETO, J. G. Territorialização do agronegócio florestal: expansão da silvicultura de eucalipto sobre a agricultura familiar nos municípios de Açailândia e Itinga do Maranhão, Maranhão, Brasil. **Revista Contexto Geográfico**, v. 7, n. 15, p. 15–30, 2023.

PRADO, F.M. **Sistema hierárquico de classificação para mapeamento da cobertura da terra nas escalas regional e urbana.** Presidente Prudente, 2009. 164 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartografias) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista.

PREFEITURA DE AÇAILÂNDIA, 2023. Açailândia avança na produção de grãos. Disponível em: https://www.acailandia.ma.gov.br/midia/ACAILANDIA-AVANCA-NA-PRODUCAO-DE-GRAOS_1964. Acesso em: 8 jul. 2023.

PESTANA, T. V. O**s impactos socioambientais decorrentes da atividade siderúrgica na comunidade Pequiá de Baixo em Açailândia/MA.** (Dissertação de Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento). Centro universitário Univates, 2013. 133p.

RODRIGUES, T.C.S. 2018. **Estudo da cobertura e uso da terra na microrregião do Gurupi, Amazônia maranhense, entre os anos 1976 – 2016 por meio da aplicação do sensoriamento remoto e SIG's.** Tese de doutorado, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", São Paulo.

SERVIÇOS MÉDICO-HOSPITALARES E DINÂMICA DA COVID-19 NA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO

Data de aceite: 01/09/2023

Allison Bezerra Oliveira
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
https://orcid.org/0000-0003-0320-5661

Luciléa Ferreira Lopes Gonçalves
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
https://orcid.org/0000-0003-3519-3714

Sheila Elke Araújo Nunes
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
https://orcid.org/0000-0002-2309-7314

Rafael de Oliveira Araújo
Universidade Federal de Jataí
https://orcid.org/0000-0003-2346-7407

Karolayne Carneiro dos Santos
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
https://orcid.org/0000-0003-1698-5900

Iane Paula Rêgo Cunha Dias
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
Imperatriz-MA
https://orcid.org/0000-0002-6155-1274

Aichely Rodrigues da Silva
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
Imperatriz-MA
https://orcid.org/0000-0001-9447-2380

A Versão completa da pesquisa e de onde é derivado este capítulo pode ser observado em OLIVEIRA, A. B.; SILVA, A. M. B. da. DESIGUALDADES ESPACIAIS E DIFUSÃO DE COVID-19 NA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO, BRASIL. Caminhos de Geografia, Uberlândia, v. 24, n. 92, p. 211–225, 2023. DOI: 10.14393/RCG249263461. Disponível em: https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/63461.

RESUMO: O presente trabalho tem por objetivo discutir a evolução dos casos de covid-19 na Região Tocantina do estado do Maranhão a partir da oferta de serviços médico-hospitalares essenciais no diagnóstico/tratamento para a doença. O período analisado compreende um

ano de pandemia no estado. São considerados dados da espacialização de Unidades de Tratamento Intensivo (UTI), leitos hospitalares, respiradores/ventiladores mecânicos e seis especialidades médicas, bem como informações sobre a evolução viral nos 22 municípios que formam a região. As principais fontes de dados são o Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (Datasus) e a Secretaria de Estado da Saúde do Maranhão.
PALAVRAS-CHAVE: SARS-CoV-2. Saúde. Serviços médico-hospitalares.

MEDICAL AND HOSPITAL SERVICES AND THE DYNAMICS OF COVID-19 IN THE TOCANTINA REGION OF MARANHÃO

ABSTRACT: The present study aims to understand aspects of the diffusion of covid-19 in the Tocantina region of the state of Maranhão based on historically existing inequalities in the provision of health services. The period analyzed comprises a pandemic year in the state. Data from the spatialization of Intensive Care Units (ICU), hospital beds, ventilators and six medical specialties are considered, as well as information about the viral evolution in the 22 municipalities that form the region. The main data sources are the Department of Informatics of the Brazilian Unified Health System (Datasus) and the State Department of Health of Maranhão
KEYWORDS: SARS-CoV-2. Health. Medical and hospital services.

1 | INTRODUÇÃO

Em 30 de janeiro de 2020, a Organização Mundial da Saúde (OMS) declarou emergência internacional de saúde pública, evidenciando o contágio em nível global pelo novo coronavírus (Sars-CoV-2); no mês de março foi declarado o estado de pandemia. A cronologia desse coronavírus se inicia oficialmente no dia 12 de dezembro de 2019, data em que o primeiro paciente foi hospitalizado na cidade de Wuhan, localizada na China. A partir daí o vírus espalhou-se rapidamente por outros países (Li *et al*., 2020; WHO, 2020).

O agente patógeno da covid-19 trata-se de um novo vírus corona (Sars-Cov-2), pertencente à família C*oronavírus,* gênero *Betacoronavírus* e subgênero *Sarbecovírus* (Li *et al*., 2020). A família *Coronavírus* está presente em diversas espécies de animais (em especial aves e mamíferos) pode causar diversas doenças nos seres humanos, contudo, a principal complicação está associada a doenças graves do trato respiratório, com alto índice de letalidade em humanos (Drosten *et al*., 2003; Ksiazek *et al*., 2003; Osterhaus; Fouchier; Kuiken, 2004).

Com grande potencial de contágio, seus sintomas podem variar, assemelhando-se a um simples resfriado ou até a uma pneumonia severa, considerando ocorrências de tosse, febre, coriza, dor de garganta, além de dificuldade para respirar. Isso faz com que nos casos mais leves, a doença seja confundida com gripes comuns. A transmissão ocorre por meio de gotículas de saliva, espirro, tosse, catarro, além do contato com mãos, superfícies ou objetos contaminados. Por isso, o isolamento social vem sendo aplicado desde o início como a principal estratégia sanitária de contenção do vírus (Brasil, 2021c).

Neste contexto, o presente trabalho tem por objetivo discutir a evolução dos casos de covid-19 na Região Tocantina do estado do Maranhão a partir da oferta de serviços médico-hospitalares essenciais no diagnóstico/tratamento para a doença.

2 | METODOLOGIA

Enquanto recorte espacial, a pesquisa delimita a Região Tocantina do Maranhão (Figura 1), composta por 22 municípios, e a relação de sua rede urbana com a espacialização do Sars-Cov-2, constitui o objeto de estudo. Já o recorte temporal compreende um ano de pandemia no estado, contado a partir do primeiro caso confirmado (20 de março de 2020 a 20 de março de 2021). Tal recorte considera uma dinâmica mais ampla de propagação viral e antecede o período de iniciação de vacinação da população.

A região Tocantina do Maranhão é composta por 22 municípios com população total superior aos 751.930 habitantes, sendo a cidade mais populosa Imperatriz com 259.337 habitantes e a menos populosa Lajeado Novo com 7.602 habitantes (IBGE, 2020). Tal regionalização se sobrepõe a outras estabelecidas pelo IBGE (2017), como as Regiões Geográficas Imediatas/Intermediárias e as Regiões Metropolitanas, e está fincada sobre a influência da rede urbana da cidade de Imperatriz.

Assim, a Região Tocantina encontra-se na porção sudoeste do estado do Maranhão e abrange os 17 municípios pertencentes da Região Geográfica Imediata de Imperatriz, 03 municípios da Região Geográfica Imediata de Açailândia (Itinga do Maranhão, São Francisco do Brejão e Açailândia), um município pertencente à Região Geográfica Imediata de Barra do Corda (Sítio Novo), além do município de Carolina, pertencente à Região Geográfica Imediata de Balsas. Todas estas Regiões Geográficas Imediatas compõem a grande área que resulta na Região Geográfica Intermediária de Imperatriz.

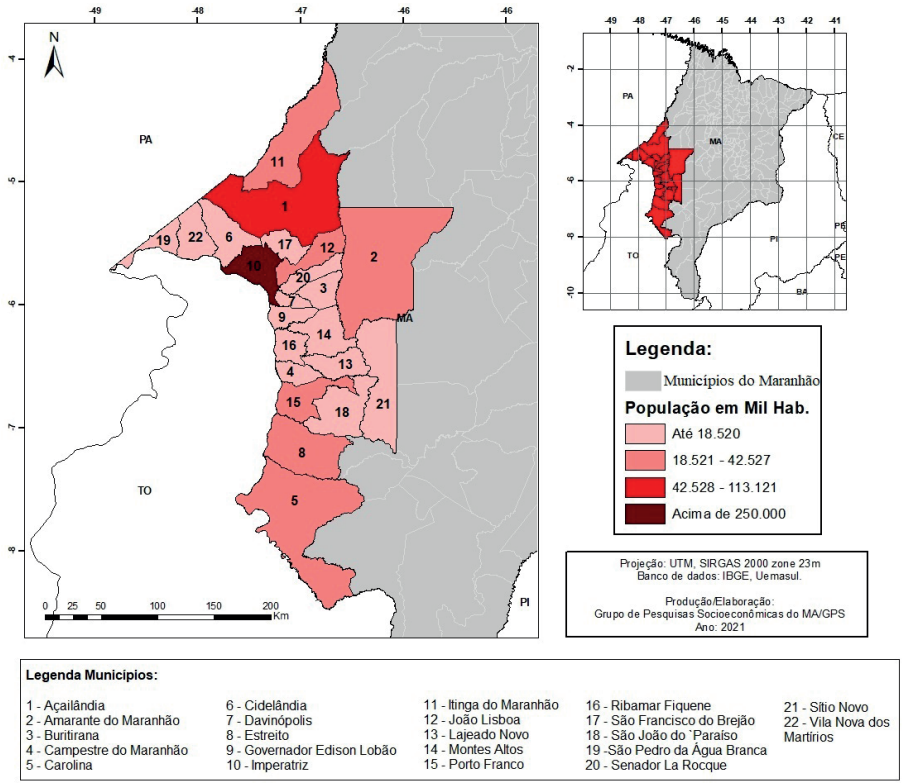


Figura 1. Mapa da Região Tocantina do Maranhão.

Fonte: Dados do IBGE (2017).

Org.: Os autores (2021).

A constituição da Região Tocantina considera, entre outras questões, o papel do rio Tocantins na formação socioeconômica e cultural nos municípios que fazem parte (10 às margens da bacia do Tocantins-Araguaia e outros 12 sob influência de seus afluentes), além do passado comum de formação territorial em que os atuais centros que dela fazem parte são originários do território inicial pertencente à cidade de Imperatriz. Tal cidade, se apresenta no quadro da rede urbana maranhense como Capital Regional C, sendo a segundo município mais relevante, sendo o principal centro polarizador em toda a porção sul do estado.

Trata-se de uma análise espacial empírica, ancorada na sistematização de dados secundários e públicos, seguida de exame qualitativo. Analisa-se tanto a evolução da pandemia (casos confirmados e óbitos) na Região Tocantina do Maranhão, quanto a reprodução da hierarquia urbana de Imperatriz sobre a região a partir da distribuição de serviços médico-hospitalares (Oliveira; Madeira; Paz, 2021; Oliveira; Gonçalves; Paz, 2021).

A identificação de oferta de serviços médico-hospitalares foi desenvolvida a partir de dois núcleos principais de coletas de dados diretamente ligados às demandas desencadeadas pela pandemia de covid-19. Equipamentos médico-hospitalares: a) unidades de terapia intensiva (UTIs); b) ventiladores/respiradores mecânicos; e c) leitos hospitalares públicos e privados. E recursos humanos (especialidades médicas): a) imunologista; b) Citopatologista; b) infectologista; d) médico intensivista; e) Pneumatologista; f) Geriatra e g) Nefrologista. Os dados foram coletados no Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (Datasus), por meio do sistema Informações de Saúde (Tabnet) (DATASUS, 2020).

Quanto a oferta de serviços na Região Tocantina do Maranhão

Uma rede urbana pode ser compreendida como um conjunto de centros urbanos articulados através de suas funcionalidades, por onde circulam pessoas, ideias, informações e mercadorias (Corrêa, 1997, 2006). Elas são firmadas em torno dos centros que exercem influências regionais, sub-regionais, microrregionais e, até mesmo, dos centros locais, a partir das capacidades de oferecer e consumir bens e serviços (Bessa; Luz, 2020).

Desta forma, a oferta de serviços médico-hospitalares move os fluxos de pessoas que, normalmente, deslocam-se de centros menores para os maiores em busca de serviços de urgência e de média e alta complexidade, contribuindo para a constituição das hierarquias das cidades dentro do espaço regional.

Neste caso, a cadeia produtiva da saúde deve ser considerada como um atributo socioeconômico intrínseco à expansão da vida urbana, que amplia a importância da dinâmica cidade-região na medida em que atrai pessoas de diversos lugares. A atração de pessoas para esses centros faz com que se constitua uma continuidade espacial, formada por hierarquias e nós, de uma extensa rede urbana que estimula a pendularidade de grupos sociais em busca de diversos serviços.

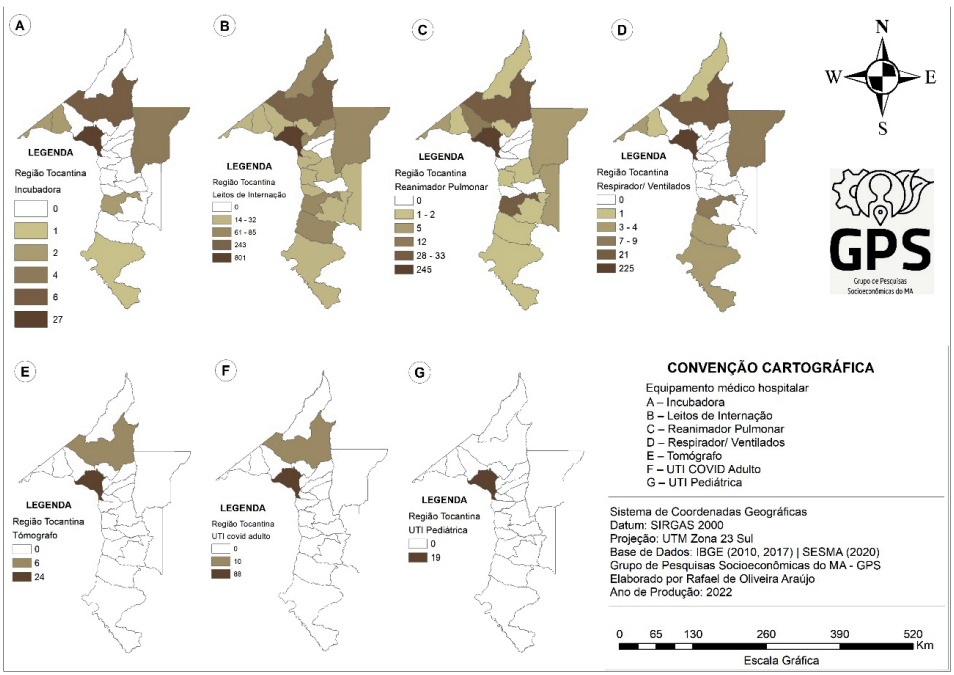
Assim, como afirma Rochefort (1998, p. 15) “todo serviço atende tanto às necessidades dos habitantes da aglomeração onde se localiza quanto às das pessoas que habitam na zona de influência desta” o que nos leva a compreender as dinâmicas gravitacionais de pessoas de centros circunvizinhos em busca de múltiplos e específicos serviços, como ocorre na região Tocantina do Maranhão.

Os serviços da saúde tendem a estar concentrados em centros urbanos maiores, como as metrópoles, devido à maior disponibilidade de recursos, como equipamentos e profissionais especializados. Isso faz com que pessoas de cidades menores, com serviços de saúde menos desenvolvidos, se desloquem para os grandes centros em busca de atendimento médico mais especializado e de melhor qualidade. Esses deslocamentos geram fluxos migratórios e impactam diretamente na organização espacial das cidades, contribuindo para a sua hierarquização e relevância a partir do setor da saúde

De modo geral, quanto maior a hierarquia urbana de uma área, maior é a oferta de serviços de saúde disponíveis. As áreas de maior influência urbana tendem a ter mais serviços de saúde, enquanto as áreas mais periféricas têm uma oferta limitada de serviços de saúde. Essa distribuição desigual resulta em desigualdades na qualidade de atendimento e acesso à saúde entre diferentes grupos sociais. Essas desigualdades foram agravadas durante a pandemia da COVID-19, com a sobrecarga dos sistemas de saúde em grandes centros urbanos.

Com relação a distribuição de equipamentos médicos hospitalares na RMSM é claramente perceptível a grande diferença na quantidade de equipamentos entre os municípios, como mostra o Mapa 2. A cidade de Imperatriz aparece em primeiro lugar no número de equipamentos em detrimento aos demais municípios da RMSM, tornando se o principal centro de polarização dos serviços da saúde.

A Região Tocantina possui 46 incubadoras, sendo que 27 estão em Imperatriz, 6 em Açailândia e os demais municípios não possuem mais que 5%. Em relação aos respiradores, a região tem 263, sendo que 85% estão em Imperatriz, 7,9% em Açailândia, e os outros municípios possuem percentuais menores ou não possuem nenhum equipamento (DATASUS, 2020).



Mapa 2. Distribuição de equipamentos médicos hospitalares na Região Tocantina do Maranhão.

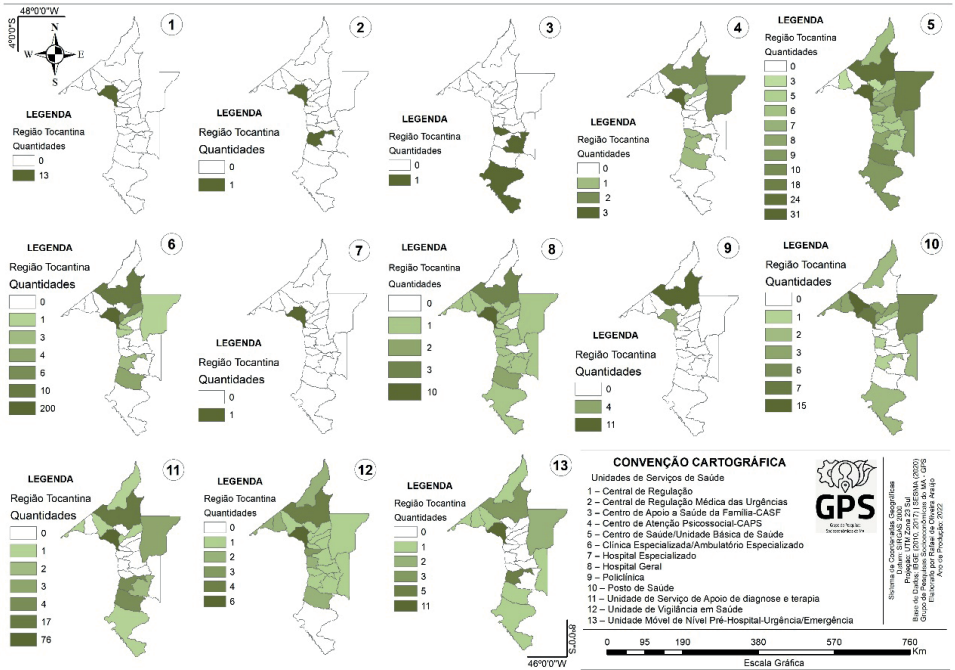
Fonte: Grupo de Pesquisas Socioeconômicas do Maranhão (2022).

Nela existem um total de 1.592 leitos de internação, Imperatriz com 50% desses leitos, seguida por Açailândia com 15,26%, Amarante com 5,35%, Itinga do Maranhão com 4,77% e João Lisboa com 3,89%. Os demais municípios têm menos de 40 leitos cada. No que se refere aos reanimadores pulmonares, somente as cidades de Imperatriz e Açailândia apresentam o maior quantitativo desses equipamentos, com 245 em Imperatriz e 33 em Açailândia (DATASUS, 2020).

A cidade de Imperatriz também se destaca com a maior quantidade de respiradores (225), UTIs para adultos (88) e tomógrafos (24). Açailândia também possui uma quantidade significativa de respiradores (21) e um número menor de tomógrafos (6). No entanto, a quantidade total de equipamentos de saúde na região é baixa, com sete municípios possuindo menos de dez equipamentos cada. Isso pode afetar negativamente a qualidade do atendimento à saúde na região, especialmente em situações de alta demanda ou emergências (DATASUS, 2020).

Essas disparidades da saúde também podem ser observadas em relação as especialidades médicas. Sendo elas, imunologistas, citologistas, infectologistas, médicos intensivistas, pneumologistas, geriatras e nefrologistas. Somente Imperatriz e Açailândia possui médicos especializados, sendo 9 nefrologistas em Imperatriz e 6 em Açailândia, reproduzindo o cenário da saúde no estado (DATASUS, 2020).

A distribuição de médicos por especialidade, assim como a de equipamentos médico-hospitalares, reproduz um padrão hierárquico, seguindo uma ordem decrescente — dos maiores para os menores centros. Tal ordenamento gera vantagem competitiva no cenário regional para os centros que ofertam atendimento em especialidades específicas e amplia a capacidade de atração e centralidade frente aos outros municípios. Essa vantagem competitiva pode ser ainda mais acentuada em regiões onde há pouca oferta de serviços de saúde em especialidades específicas, o que leva a uma maior centralidade dos centros que possuem essa oferta (Araujo, 2016).



Mapa 2. Distribuição de equipamentos médicos hospitalares na Região Tocantina do Maranhão.

Fonte: Grupo de Pesquisas Socioeconômicas do Maranhão (2022).

Com relação as unidades de serviços da saúde dentro da região, há uma grande discrepância na oferta de serviços médico hospitalares, além de realçar a importância da cidade de imperatriz dentro da região. A cidade de Imperatriz possui também a maior quantidade de estabelecimentos e equipes de saúde, além de ser o único município que oferece serviços de alta complexidade hospitalar, fato que contribui para a mobilidade de pacientes de municípios distantes (Araujo, 2016).

No mapa 3 é possível perceber que Imperatriz se destaca em relação aos demais municípios, tanto da sua região como das regiões vizinhas, sendo o único a apresentar atenção hospitalar de alta complexidade, como central de regulação (13), centro de saúde de unidade básica (31), clínica especializada (200), hospital geral (10), policlínica (4), posto de saúde (7), unidade de serviço de apoio de diagnose e terapia (76), unidade móvel de nível pré-hospitalar de urgência/emergência (11), unidade de vigilância em saúde (6) (DATASUS, 2020).

Estes números denunciam a falta de infraestrutura hospitalar nos municípios dessa região. Nesse sentido, a cidade de Imperatriz se destaca como centro/polo regional centralizador dos serviços de saúde, oferecendo serviços de alta e média complexidade que atraem pacientes de outras cidades (Araujo, 2016).

No contexto da pandemia da COVID-19, essa concentração de serviços de saúde

em Imperatriz se tornou ainda mais evidente, uma vez que a cidade foi responsável por receber pacientes de outras regiões do estado que necessitavam de internação e tratamento especializado para a doença.

Evolução e distribuição de casos de covid-19 na Região Tocantina

O primeiro caso confirmado da COVID-19 no Brasil foi registrado em 26 de fevereiro de 2020, na cidade de São Paulo. Tratava-se de um homem de 61 anos que havia retornado de uma viagem à Itália, um dos primeiros países a serem afetados pela pandemia. A partir desse caso, a doença se espalhou rapidamente para outras regiões do país, sendo as grandes cidades as mais afetadas inicialmente. A partir daí, iniciou-se um processo de interiorização da pandemia, onde as cidades menores e mais afastadas dos grandes centros urbanos também foram sendo afetadas, evidenciando, assim, a espacialidade do vírus da COVID-19.

No Maranhão o primeiro caso de COVID-19 foi confirmado em 20 de março de 2020, em um paciente que também havia chegado de São Paulo. Desde então, o número de casos e óbitos pela doença aumentou no estado, levando as autoridades a adotarem medidas de contenção, como o distanciamento social e a restrição de atividades comerciais e de lazer.

Para conter o avanço do vírus para outras regiões do estado, foram editados decretos tanto pelo governo do estado, quanto pelas prefeituras municipais. A partir desses documentos, ficaram estabelecidos: o uso obrigatório de máscaras em ambientes abertos e fechados, a suspensão de atividades que não fossem consideradas essenciais, além do aumento da oferta de leitos clínicos e intensivos, tanto nos hospitais que já existiam, quanto com a montagem de hospitais de campanha para o combate à doença (Maranhão, 2020).

O primeiro caso confirmado na Região Metropolitana do Sudoeste Maranhense foi detectado na segunda maior cidade do estado, Imperatriz, no dia 27 de março de 2020. Esse caso também foi de uma pessoa que veio de São Paulo. Após esse primeiro caso, houve um aumento significativo no número de casos em Imperatriz e em todos os municípios da região, o que levou à adoção de medidas de isolamento social e restrições à circulação de pessoas e atividades comerciais.

Nos primeiros meses da pandemia, RMSM registrou um aumento significativo no número de casos e óbitos pela COVID-19, acompanhando a tendência observada em todo o estado do Maranhão e em outras regiões do país. No período de um ano houve um aumento de 274% no número de casos em toda a região, como mostra o Gráfico 1.

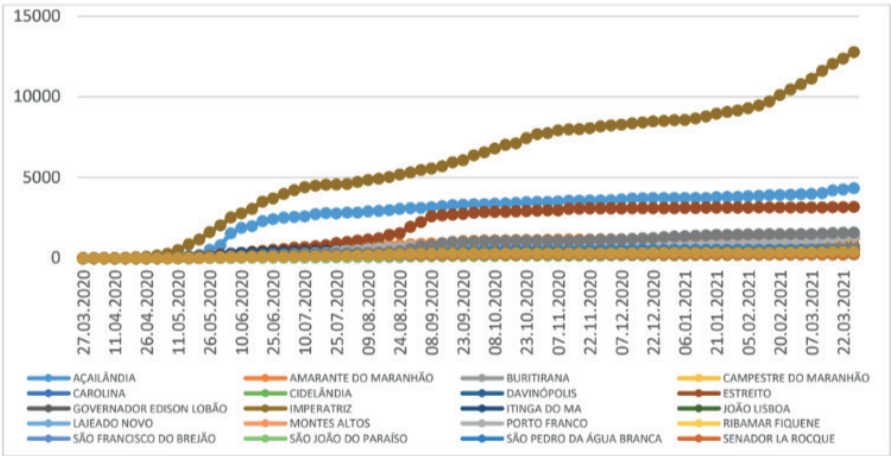


Gráfico 1. Evolução de casos de Covid-19 na Região Tocantina do Maranhão (20 de março de 202- 20 de março de 2021).

Fonte: Dados do Datasus (2021) e da Secretaria da Saúde do Maranhão (2021)

Org.: autores (2023).

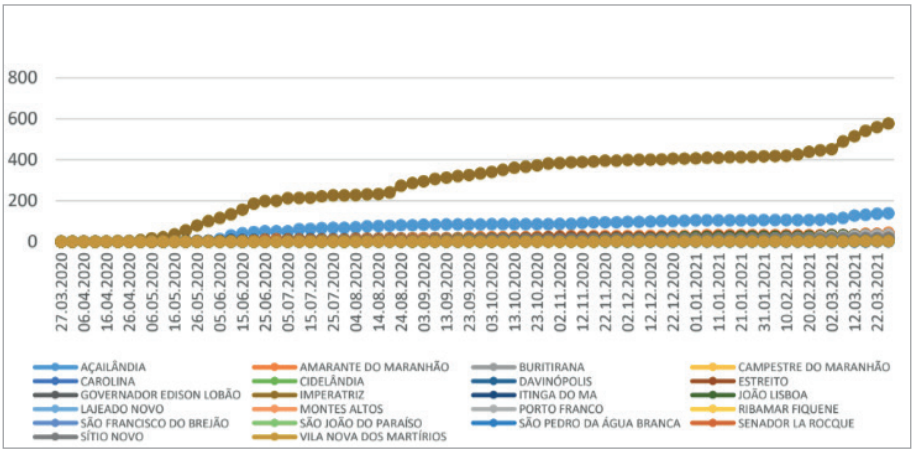
No Gráfico 1, é perceptível que o número de casos confirmados em Imperatriz é muito superior aos números dos demais municípios da Região Metropolitana do Sudoeste Maranhense. Em um ano de pandemia, a cidade registrou 40% (12.751 casos) de todos os casos confirmados na região, enquanto os outros 21 municípios somaram 60% (19.018) dos casos confirmados.

Entre as cidades da RMSM que tiveram o maior quantitativo de casos confirmados, se destacam principalmente a cidade de Imperatriz, onde foram confirmados 12.781, seguida por Açailândia com 4336 e Estreito com 3.176 casos confirmados. Nesse contexto, os municípios com maior classificação hierárquica apresentem maiores índices de casos de COVID-19, em razão da maior circulação de pessoas e do maior fluxo de atividades. Esses municípios também podem contar com uma maior infraestrutura de saúde, o que pode permitir uma melhor detecção e notificação dos casos, além de uma maior capacidade de atendimento aos pacientes.

O fato de Imperatriz ter registrado um número significativamente maior de casos confirmados de COVID-19 em comparação aos demais municípios da região, pode ser explicado por diversos fatores. Primeiramente, Imperatriz é uma cidade com uma grande concentração populacional e possui uma infraestrutura de serviços de saúde mais desenvolvida do que as demais cidades da região, o que pode ter contribuído para uma maior notificação e confirmação de casos. Além disso, a cidade é um importante centro comercial e de serviços na região, o que faz com que muitas pessoas de outras cidades se desloquem em busca de trabalho, estudo, lazer, compras entre outras atividades, o que aumenta o risco de disseminação do vírus.

Outro fator que pode ter influenciado na maior incidência de casos confirmados em Imperatriz é a realização de mais testes em comparação aos demais municípios. Uma maior testagem permite uma detecção mais precisa do número de casos e uma melhor compreensão da situação epidemiológica da região.

Com relação ao número de óbitos na Região Metropolitana do Sudoeste Maranhense (Gráfico 2), durante o mesmo intervalo de tempo, a cidade de Imperatriz também se destaca, com 578 óbitos, seguida por Açailândia com 139 e Amarante do Maranhão, com 43 óbitos.



Mapa 2. Evolução no número de óbitos da Covid-19 na Região Tocantina do Maranhão (20 de março de 202- 20 de março de 2021).

Fonte: Dados do Datasus (2021) e da Secretaria da Saúde do Maranhão (2021)

Org.: autores (2023).

As mortes são decorrentes da falta de medidas corretas para a contenção do vírus, como distanciamento social, uso correto de máscara e álcool em gel, o que facilitou que as pessoas se contaminassem com o COVID-19. Outro fator que pode ter contribuído para o aumento no número de óbitos é o uso de medicamentos sem eficácia comprovada para o tratamento da COVID-19. Algumas substâncias foram divulgadas como possíveis tratamentos para a doença, mas não foram comprovadas cientificamente como eficazes. O uso desses medicamentos pode causar efeitos colaterais e até mesmo piorar o estado de saúde dos pacientes.

Entre os fatores que podem ter contribuído para o aumento no número de mortes no estado estão a falta de leitos hospitalares e de UTIs, a baixa adesão da população às medidas de distanciamento social, a informação sobre a importância do uso de máscaras e a circulação de variantes mais transmissíveis do vírus.

É importante ressaltar que o número de mortes não se limita apenas aos fatores relacionados à saúde pública, mas também é afetado por questões sociais, emocionais e

políticas, além da falta de informação e a disseminação de informações falsas e teorias da conspiração também pode ter levado muitas pessoas a não acreditarem na existência do vírus e não tomarem os cuidados necessários para evitar a sua manifestação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento periférico da região pode ser compreendido a partir de vários recortes, a saúde por ser um serviço essencial, sobretudo em uma pandemia como a da covid-19 se mostra significativo. A pouca oferta e até mesmo inexistência de serviços na área de saúde na Região Tocantina acabam por reforçar o papel de centralidade urbano-regional de Imperatriz sobre os demais centros, resultando na intensificação de fluxos e mobilidades diárias em busca de atendimento aumentando criando imprecisões quanto à procedência geográfica de pacientes e até mesmo o esgotamento da capacidade de atendimento.

A evolução de casos apresenta reproduz a concentração no número de casos confirmados e até mesmo óbitos, em certa medida, proporcionais à capacidade das cidades de oferta de serviços de saúde, intensificado em plena pandemia de Covid-19.

Tais características regionais, observadas a partir da saúde, representam movimentos notadamente reconhecidos e mais amplos no Brasil. Principalmente resultantes de transformações oriundas da reorganização do território que são marcadas, historicamente, por distintas formas de atuação da divisão técnica e social do trabalho e do próprio capitalismo nos espaços.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, J. A. V. de. **A região de influência de Imperatriz (MA)**: Estudo da polarização de uma capital regional, destacando a regionalização dos serviços públicos de saúde. 2016. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Urbano) - Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Urbano, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2016.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Censo Demográfico de 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado, 1988. Lei Complementar nº 108/2007. Dispõe sobre a criação de Regiões para o Planejamento, e dá outras providências. Disponível em; http://stc.ma.gov.br/legisla-documento/?id=1936. Acesso em 07 de fev.2023.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Brasília: 05/10/1988.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Lei complementar nº 14, de 08 de junho de 1973. Estabelece as regiões metropolitanas de São Paulo, Belo Horizonte, Porto Alegre, Recife, Salvador, Curitiba, Belém e Fortaleza. Brasília: D.O.U., 11/06/1973.

BRASIL. (2015, 13 de janeiro). Lei n. 13.089, de 12 de janeiro de 2015. Institui o Estatuto da Metrópole, altera a Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001, e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil.

CORRÊA, R. L. **A rede urbana**. 3. ed. São Paulo: Ática, 1997.

CORRÊA, R. L. **Estudos sobre a rede urbana**. 1. ed. São Paulo: Bertrand Brasil, 2006.

DATASUS – DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA DO SUS. Ministério da Saúde. Sistema de informações à saúde. 2020. Disponível em: http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php?area=02. Acesso em: 10 jun. 2020.

MARANHÃO. Secretaria de Comunicação Social e Assuntos Políticos. Coronavírus Maranhão. 2020a. disponível em: https://www.corona.ma.gov.br/atos-normativos. Acesso em: 20 ago. 2020.

MARANHÃO. Secretaria de Estado da Saúde. Coronavírus: covid-19 no Maranhão. 2020b. Disponível em: https://painel-covid19.saude.ma.gov.br/. Acesso em: 15 jul. 2020.

MARANHÃO. Comissão de Assuntos Municipais e de Desenvolvimento Regional Parecer N.º 001/2008. São Luís, 2008. Disponível em: Acesso em: 08 out. 2012

MARANHÃO. Diagnóstico do Eixo Institucional. Governo do Estado do Maranhão. Maranhão: 2019. Disponível em: Acesso em: 05 mar. 2020.

OLIVEIRA, A. B.; SILVA, A. M. B. da. DESIGUALDADES ESPACIAIS E DIFUSÃO DE COVID-19 NA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO, BRASIL. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 24, n. 92, p. 211–225, 2023.

OLIVEIRA, A.B; SANTOS, R, F. Aspectos regionais da difusão de covid-19 na rede urbana da Região Geográfica Imediata de Açailândia, Maranhão, Brasil. **Boletim de Geografia**. Maringá, 2023.

CAPÍTULO 11

CUSTOS HOSPITALARES DO TRATAMENTO DA COVID-19 NO ESTADO DO MARANHÃO ESTIMADOS POR MACROCUSTEIO

Data de aceite: 01/09/2023

Antonio Emanuel Passos de Sousa Oliveira
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão UEMASUL
Imperatriz – Maranhão
https://orcid.org/0009-0008-8692-0962

Sheila Elke Araújo Nunes
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão UEMASUL
Imperatriz – Maranhão
http://orcid.org/0000-0002-2309-7314

João Amadeu Lima Pinto
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão UEMASUL
Imperatriz – Maranhão
http://orcid.org/0000-0002-5524-4892

Ivaneide de Oliveira Nascimento
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão UEMASUL
Imperatriz – Maranhão
http://orcid.org/0000-0001-7095-7092

Allison Bezerra Oliveira
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão UEMASUL
Imperatriz – Maranhão
http://orcid.org/0000-0003-0320-5661

Marcia Guelma Santos Belfort
Universidade Estadual do Tocantins - Unitins
https://orcid.org/0000-0003-3131-2237

Wellyson da Cunha Araújo Firmo
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, Centro de Ciências da Saúde
Imperatriz/Maranhão
https://orcid.org/0000-0002-6979-1184

RESUMO: O SARS-CoV-2 tem exigido dos serviços de saúde a alocação de recursos de maneira a fornecer uma estimativa monetária do ônus econômico da doença. Estudo de custo da doença é uma abordagem empírica para estimar o impacto social das doenças e das lesões que pode combinar os custos diretos - assistência médica, despesas de viagem etc., e, os custos indiretos - perda de produtividade devido à redução do tempo de trabalho. O objetivo deste estudo é estimar os custos médicos diretos associados ao tratamento hospitalar da Covid-19, na perspectiva do SUS. Foi realizada a coleta de informações nos boletins da Secretaria de Estado de Saúde – SES-Maranhão, de março de

2020 a fevereiro de 2021. Por meio da metodologia de macrocusteio (*gross-costing*) os componentes de custos médicos diretos - internação em enfermaria e internação em UTI foram estimados. O custo dia de UTI, incluindo o serviço hospitalar (R$ 1.372,80) e o serviço profissional (R$ 227,20) foi de R$ 1.600,00 e na enfermaria, para uma permanência de 5 dias com permanência a maior, conforme legislação do SUS, foi de R$ 1.500,00, incluindo o serviço hospitalar (R$ 1.195,99) e o serviço profissional (R$ 304,01). Estima-se que o custo unitário do tratamento hospitalar na enfermaria foi R$ 1.500,00 e para os casos tratados em UTI de R$ 20.060,00. Por meio desse tipo de estudo é possível quantificar os recursos gastos pelo SUS; analisar os custos relacionados à doença e comparar diferentes intervenções, a fim de subsidiar a escolha da melhor delas, como por exemplo, para além dos custos intangíveis, comparar os custos do tratamento com os custos da vacina, que segundo a OMS, varia entre $10 a $55 dólares por dose e ampliar a discussão, com estudo futuros quão efetivos são os esquemas vacinais e quão custo-efetivo é a Política de Imunização da população.
PALAVRAS-CHAVE: Estudo de Custo de doença, Macrocusteio, Gross-costing, Covid-19.

HOSPITAL COSTS OF COVID-19 TREATMENT IN THE STATE OF MARANHÃO ESTIMATED BY MACROCOST

ABSTRACT: SARS-CoV-2 has required health services to allocate resources in ways that provide a monetary estimate of the economic burden of the disease. A cost-of-illness study is an empirical approach to estimating the social impact of illness and injury that can combine direct costs - medical care, travel expenses, etc., and indirect costs - lost productivity due to reduced work etc. The objective of this study is to estimate the direct medical costs associated with the hospital treatment of Covid-19, from the perspective of the SUS. Information was collected from the newsletters of the State Health Secretariat - SES-Maranhão, from March 2020 to February 2021. Through the macro-costing methodology, the components of direct medical costs - hospitalization in the ward and ICU stays were estimated. The daily cost of the ICU, including hospital service (R$ 1,372.80) and professional service (R$ 227.20) was R$ 1,600.00 and in the ward, for a stay of 5 days with the longest stay, according to SUS legislation, it was R$ 1,500.00, including hospital service (R$ 1,195.99) and professional service (R$ 304.01). It is estimated that the unit cost of hospital treatment in the ward was R$ 1,500.00 and for cases treated in the ICU, R$ 20,060.00. Through this type of study, it is possible to quantify the resources spent by the SUS; analyze the costs related to the disease and compare different interventions, in order to support the choice of the best one, for example, in addition to the intangible costs, compare the costs of treatment with the costs of the vaccine, which according to the WHO varies between $10 at $55 dollars per dose and broaden the discussion, with future studies on how effective vaccine schedules are and how cost-effective the Immunization Policy is for the population.
KEYWORDS: Study of Cost of illness, Macrocosting, Gross-costing, Covid-19.

1 | INTRODUÇÃO

Sabe-se que o SARS-CoV-2 foi identificado inicialmente no final de 2019, na China, e devido a sua alta transmissibilidade disseminou-se rapidamente por todo o mundo,

tornando-se em uma pandemia de alto grau de letalidade, exigindo dos serviços de saúde a alocação de recursos humanos e financeiros. Os estudos de custo de doença têm como objetivos identificar e mensurar custos totais referentes a uma determinada doença. Para isso é necessário o reconhecimento dos casos, a identificação, mensuração e avaliação dos custos relativos à doença investigada; E assim, por fim calcular os custos da doença. Conhecer esses custos por meio de Estudo de Custo de Doença permite quantificar os recursos gastos pelo sistema de saúde e subsidiar decisões sobre a alocação desses recursos.

O estudo de custo de doença é uma etapa necessária e essencial para a realização de estudos econômicos de intervenções de saúde (Drummond *et al.*, 2005). Trabalhos sobre estudo de custo de doença começaram a ser identificados em estudos econômicos a partir da década de 1960. Desde então vários autores dedicaram-se ao aprimoramento de suas metodologias (Oliveira; Santos; Da Silva, 2014).

As avaliações econômicas em saúde são definidas como técnicas analíticas formais para comparar diferentes alternativas de ação propostas, levando em consideração custos e consequências para a saúde, tanto positivas quanto negativas (Brasil, 2019). Tais estudos são importantes para que se tenha uma base sobre o que é gasto, assim ajudando nas decisões sobre priorização de intervenções e alocação de recursos (Brasil, 2019).

O estudo de custo de doença objetiva-se na identificação e mensuração dos custos totais referentes a uma determinada doença (Araujo, 2011). A essência do método empregado nesse tipo de estudo consiste em: 1) reconhecimento dos casos; 2) a identificação, mensuração e avaliação dos custos relativos à doença investigada e 3) cálculo de custos da doença. As principais razões para a aplicação de um estudo de custos de doença possam ser realizadas são: i) fornecer dados de entrada para uma análise de avaliação econômica; ii) descrever carga global de uma doença específica para o sistema de saúde ou para a sociedade (Araujo, 2011).

Duas metodologias podem ser usadas na estimativa de custos de doença, estimativa baseada na prevalência e na incidência. O custo da doença em relação à sua prevalência considera todos os casos existentes durante um período determinado, em geral um ano, assim como os recursos utilizados para sua prevenção e reabilitação.

Habitualmente são incluídos nas análises os efeitos provocados em consequência da morbidade e mortalidade durante o ano considerado. Por outro lado, o custo da doença baseado na incidência concentra-se nos casos novos da doença que foram detectados em um determinado ano, e no consumo de recursos que eles implicam, a partir de seu diagnóstico até a superação da doença, ou seja por cura ou falecimento (Secoli *et al.*, 2010).

Custo é um componente essencial em todas as formas de avaliações econômicas. Nos estudos de custos de doença podem ser incluídos os custos do setor de saúde, o valor da perda de produtividade pelo paciente ou cuidador e os custos intangíveis. Na

literatura, tradicionalmente, os custos têm sido classificados em custos diretos, indiretos e intangíveis, onde:

a. Custos diretos: são referentes à recursos efetivamente empregados no cuidado da doença; são classificados ainda em **custos médicos** e **não médicos**. Os custos médicos diretos são aqueles relacionados ao fornecimento de serviços médicos, tais como: internação, honorários médicos, exames, medicamentos e custos de quaisquer eventos adversos, ou seja, aqueles estritamente relacionados às ações em saúde necessárias à intervenção ou doença estudada. Os custos não médicos são aqueles relacionados às despesas com transporte, contratação de cuidadores, dietas especiais, que sejam resultado direto da doença, mas não relacionados aos serviços médicos.

b. Custos indiretos: são os referentes à perda de produtividade em função da doença ou seu tratamento, que pode incorrer no próprio paciente ou em seus cuidadores. Pode ser medido de duas formas: por absenteísmo (falta ao trabalho devido a doença, tratamento, mortalidade e incapacidade permanente) ou presenteísmo (paciente ou cuidador estão trabalhando, mas a produtividade é reduzida por causa dos problemas de saúde) (Araujo, 2011). Também é considerado custo indireto o custo relacionado à utilização do tempo pelo paciente ou cuidador para o tratamento da doença ou cuidados relacionados a ela. Assim, a parcela de tempo dedicada ao trabalho e ao lazer se reduz em decorrência de um estado de doença (Vanni; Luz; Ribeiro, 2009).

c. Custos intangíveis: associados aos aspectos intangíveis de uma intervenção ou condição de saúde, a exemplo: perda de bem-estar, sofrimento, dor, ansiedade etc. Apesar de terem sua inclusão recomendada, em geral não são usadas devido às dificuldades em mensurá-las (Drummond *et al.*, 2005; Vanni; Luz; Ribeiro, 2009; Araujo, 2011).

Nos estudos de custo de doença a escolha da perspectiva adotada (Tabela 1) depende de quem paga e quem recebe os benefícios da intervenção em saúde que está sendo avaliada, ou seja, pela questão que o estudo destina-se a responder. Deve ser claramente definida as etapas iniciais do estudo, os custos que serão incluídos são dependentes da perspectiva do estudo (Drummond et al., 2005; Vanni; Luz; Ribeiro, 2009).

PERSPECTIVA	CUSTOS MÉDICOS	CUSTOS NÃO MÉDICOS	CUSTOS INDIRETOS
Sociedade	X	X	X
Sistema de saúde	X	-	-
Família/paciente	X (despesas sem cobertura pelo sistema de saúde)	X	x

Tabela 1. Componentes de custos adotados de acordo com a perspectiva do estudo.

Fonte: Araújo (2011).

Metodologias de custeio

Não há consenso na literatura quanto à melhor prática na estimativa de custos, entretanto, a descrição dos objetivos do estudo de custeio de maneira específica, mensurável, alcançável, relevante e demarcada temporalmente é recomendada e dotada de consenso na literatura. Estimar custos implica três importantes etapas: (1) a identificação dos custos relevantes à avaliação; (2) a mensuração dos recursos usados; e, (3) valoração dos recursos (Brasil, 2019).

Na identificação dos itens de recursos pode se considerar a descrição detalhada do manejo clínico, como exemplo os descritos nas diretrizes clínicas ou definidos a partir de revisão de prontuário, da literatura, entrevistas e consultas com especialistas. É importante ressaltar que os componentes identificados são classificados de forma a refletir o sistema de custeio adotado.

Na mensuração dos recursos podem ser empregadas as técnicas de microcusteio (do inglês *micro-costing*) ou macrocusteio (do inglês *gross-costing*). O microcusteio pode se basear em métodos observacionais – questionários, entrevistas, prontuários médicos, diretrizes terapêuticas, classificação contábil etc, ou em métodos baseados em participantes (ensaios clínicos, questionários etc) com coleta de dados primários. O macrocusteio pode ser realizado a partir de bancos de dados administrativos, sistema de DRG's (*Diagnosis-related Groups*) etc, ou seja, dados secundários. A escolha pela técnica dependerá do detalhamento e confiabilidade requerida pelo estudo, assim como pela viabilidade na obtenção dos dados (Drummond *et al.*, 2005; Araujo, 2011).

Na valoração dos componentes de custos as técnicas de cima para baixo (do inglês *top-down*) ou a técnica de baixo para cima (do inglês *bottom-up*) são empregadas. A técnica de cima para baixo (*top-down*) implica na utilização de estimativas menos detalhadas de custos, baseada em registros de despesas agregadas, como exemplo os registros do Sistema de Informação Hospitalar do DATASUS. Ao passo que na abordagem de baixo para cima (*bottom-up*) cada um dos itens ou componentes de custo é previsto separadamente (Nunes, 2014).

A mensuração da quantidade de recursos utilizados e a valoração dos recursos constituem a essência das estimativas de custos (Drummond *et al.*, 2005) com diferentes níveis de acurácia como apresentado na Figura 1, determinados pela identificação de componentes de custo (macrocusteio ou microcusteio) e valorização dos componentes de custo *(bottom-up* ou *top-down*)

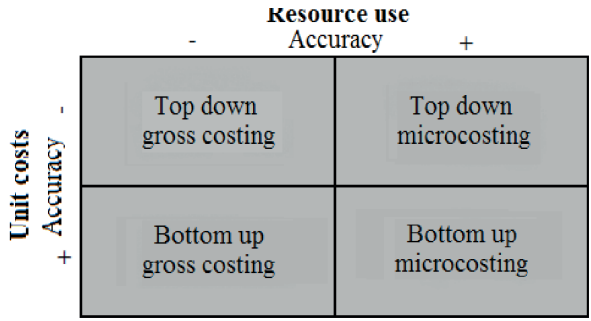


Figura 1. Nível de acurácia das metodologias de custeio.

Fonte: TAN (2009).

No microcusteio *bottom up* todos os itens de custo relevantes são mensurados e valorados individualmente, o que resulta em custos unitários específicos de pacientes. Em função da grande acurácia, é considerado como padrão ouro das metodologias de custeio para avaliação econômica. Porém a viabilidade de execução torna-se um grande desafio, principalmente em função do tempo necessário para sua realização.

No microscuteio do tipo *top down*, também são mensurados todos os itens de custo relevantes, porém emprega custos unitários médios por paciente. No macrocusteio (*gross costing*) os itens de custeio são identificados de forma agregada, englobando um ou alguns componentes de custo mais relevantes para o serviço analisado. Trata-se de um método mais factível quando comparado ao microcusteio, contudo, apresenta menor grau de precisão nas estimativas de custo (Drummond *et al.*, 2005; Tan, 2009).

Coronavírus e a Doença Covid-19

O novo coronavírus (SARS-CoV-2) é de uma família de vírus (*coronaviridae*) de RNA envelopado de fita simples pertencente ao gênero beta-coronavírus, que podem infectar animais e os seres humanos, causadores de doenças respiratórias, gastrointestinais, hepáticas e neurológicas. Como a maioria dos vírus de RNA, conhecidos, os CoVs são categorizados em quatro gêneros: alfa-coronavírus, beta-coronavírus, gama-coronavírus e delta-coronavírus (Abduljalil; Abduljalil, 2020; Wu *et al.*, 2020; Qu; Cao; Chen, 2021).

Vírus pertencente a essa família já foram descritos como causadores de doenças, como é o caso do SARS-CoV responsável pela Síndrome Respiratória Aguda Grave que surgiu em 2003, na China, e o MERS-CoV responsável pela Síndrome Respiratória do Oriente Médio, que em 2012 foi identificado inicialmente na Arábia Saudita (De Wit *et al.*, 2016).

Devido à sua similaridade em termos de sintomas clínicos e natureza biológica com o agente causador da síndrome respiratória aguda grave (SARS), o novo coranavírus foi

denominado SARS-CoV-2 pelo *Commitee on Taxonomy of Viruses* (Abduljalil; Abduljalil, 2020).

No final de dezembro de 2019 autoridades de saúde chinesas anunciaram várias infecções por pneumonia na cidade de Wuhan (província de Hubei) sem uma etimologia reconhecida. Os primeiros pacientes relatados com esse diferente tipo de pneumonia em Wuhan tinham um histórico de visitas ou associação com um mercado de frutos do mar local, onde animais selvagens são vendidos (Abduljalil; Abduljalil, 2020; Wu *et al*., 2020). Mas a sua real origem ainda é motivo de debate entre os pesquisadores.

Animais selvagens e morcegos são considerados hospedeiros intermediários naturais e desempenham um papel crucial na transmissão de vários vírus, incluindo Ebola, Nipah, coronavírus e outros. Sabe-se que uma das etapas cruciais para os surgimentos dos processos de vários vírus é o salto dos animais para os humanos. Assim, identificar a fonte do vírus ajudará no controle de sua propagação.

A doença causada pelo SARS-CoV-2 foi então denominada como Doença por Coronavírus 19 (Covid-19), e declarada, em 30 de janeiro de 2020, pela Organização Mundial da Saúde (OMS) como uma Emergência Internacional de Saúde Pública (Dias *et al*., 2020).

A transmissão do SARS-CoV-2 entre os humanos se dá principalmente através de gotículas ou aerossóis por pessoas sintomáticas, pré-sintomáticas e assintomáticas e também em contato com superfícies contaminadas. Sugere-se que a maior taxa da transmissão se dá por indivíduos pré-sintomáticos (30 a 50%), o que torna difícil controlar, com isolamento por exemplo, que esses indivíduos infectem outros (Dias *et al*., 2020).

Após um período de incubação de 2 a 14 dias, os infectados pelo SARS-CoV-2 podem ou não apresentar sintomas que variam entre quadros assintomáticos à pneumonia grave e a morte. Entre os sintomas mais comuns estão: febre, astenia, tosse seca, mialgia, dispneia, secreção respiratória; podem apresentar sintomas atípicos como: cefaleia, hemoptise, diarreia e chegando a apresentar complicações clínicas como pneumonia, Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG), Sepse e Choque Séptico (Abduljalil; Abduljalil, 2020; Dias *et al*., 2020; Wu *et al*., 2020).

Quanto ao diagnóstico da Covid-19 são utilizados critérios clínicos, laboratoriais e exames de imagem. Entre os critérios clínicos temos a constatação de sintomas como febre, tosse seca, dores, falta de ar ou quaisquer outros sintomas respiratórios. Os critérios laboratoriais são de extrema necessidade principalmente para que haja a diferenciação do vírus SARS-CoV-2 de outro vírus e bactérias que causam sintomas semelhantes. O diagnóstico laboratorial pode ser feito com o auxílio de exames como: RT- PCR (*Reverse transcription polymerase chain reaction*) e exames sorológicos como a detecção de anticorpos das classes IgA, IgM e IgG contra o SAR-CoV-2 por meio da técnica ELISA (*enzyme-linked immunosorbent assay*) (Abduljalil; Abduljalil, 2020; Dias *et al*., 2020; Wu *et al*., 2020).

Mesmo havendo recomendações em alguns protocolos epidemiológicos mais antigos, após estudos constatou-se que exames de imagem como o TCAR (tomografia computadorizada de alta resolução) não devem ser utilizados isoladamente para diagnosticar um paciente infectado pelo SARS-CoV-2. A sua recomendação é servir como auxiliar no diagnóstico e principalmente utilizado em pacientes já confirmados por SARS-CoV-2 que estejam hospitalizados e sintomáticos de modo a monitorar possíveis complicações (Santos-Neto *et al*., 2021).

Até o momento não existe medicação que tenha estudos que comprovam sua eficácia e segurança para o tratamento específico de infecção por SARS-CoV-2. Compreende-se também que dada a alta taxa de transmissibilidade e a gravidade da doença, se faz urgente a identificação de possíveis tratamentos farmacológicos para pacientes com Covid-19. Assim foi adotado pelas Secretarias de Saúde de todo o país o uso de medicamentos de classes terapêuticas como: antivirais, corticosteróides, hidroxicloroquina (ou difosfato de cloroquina), azitromicina, ivermectina, zinco entre outros (Dias *et al*., 2020).

2 | METODOLOGIA

O presente trabalho foi executado com base no estudo de custo de doença a fim de identificar e estimar os custos hospitalares da Covid-19, na perspectiva do SUS. Na identificação e valoração dos componentes de custos foram aplicadas as metodologias de custeio de cima para baixo/macrocusteio (*top-down/gross-costing*), que foram utilizadas para a coleta de informações no sistema DATASUS, boletins epidemiológicos da Covid-19 na Secretaria de Saúde do Estado do Maranhão. Foram seguidas três importantes etapas: (1) a identificação dos custos relevantes ao estudo; (2) a mensuração dos recursos usados; e (3) valoração dos recursos.

Considerando a perspectiva do estudo, foram considerados apenas os custos médicos diretos, excluindo assim os custos indiretos e os intangíveis. Os custos médicos considerados comuns a outros estudos de custos de doença publicados e que seguem recomendações metodológicas (Drummond *et al*., 2005) foram: Serviços hospitalares, criação de novos leitos exclusivos para paciente com Covid-19 (na enfermaria e/ou UTI), serviços profissionais (honorários médicos) e exames.

Os custos hospitalares aplicando à metodologia *top-down/gross-costing*, foram estimados com base nos procedimentos registrados na Tabela SIGTAP/Datasus - Sistema de Gerenciamento da Tabela de Procedimentos, Medicamentos, Órteses, Próteses e Materiais Especiais do Sistema Único de Saúde, disponível no endereço: http://sigtap.datasus.gov.br/tabela-unificada/app/sec/inicio.jsp considerando os leitos exclusivos para Covid-19, através de ressarcimento pago pelo SUS recuperadas no banco de dados do Sistema de Informação Hospitalar (SIH) do DATASUS, Procedimento 03.03.01.022-3 (tratamento de infecção pelo novo coronavírus - Covid 19).

Dados de número de casos da doença no Estado, número de internações em enfermaria e em UTI foram coletados dos boletins da Secretaria de Estado da Saúde do Maranhão, considerando os casos ocorridos no período de março de 2020 a fevereiro de 2021. Para compreender a gravidade da doença baseou-se nas publicações da Organização Mundial de Saúde – OMS e para cálculo da taxa de letalidade foi empregada a fórmula:

Taxa de Letalidade:

$$\frac{\text{Número de óbitos devidos a determinada causa}}{\text{Número de casos da mesma causa}} \times 100$$

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Referente ao período de estudo, um total de 219.307 casos confirmados da Covid-19 no estado do Maranhão. No qual 56% dos casos acometeram mulheres e 44% de casos ocorreram em homens. A faixa etária, com informação nos boletins epidemiológicos, que concentrou o maior número de casos foi a de 30 a 39 anos e o maior número de óbitos na faixa etária maior de 70 anos (Tabela 1). A taxa de letalidade da doença no período foi de 2,30%.

Descrição dos casos	n	%
Casos de Covid-19 notificados		
suspeitos	1.278	
descartados	399.458	
confirmados	219.307	
óbitos	5.052	
recuperados	204.268	
Contagem por sexo		
homem	96.270	44
mulher	123.037	56
Faixa etária dos casos confirmados		
0 a 9 anos	5.408	2,47
10 a 19 anos	14.064	6,41
20 a 29 anos	30.891	14,09
30 a 39 anos	39.914	18,20
40 a 49 anos	31.808	14,50
50 a 59 anos	22.457	10,24
60 a 70 anos	16.839	7,68
mais de 70 anos	15.879	7,24
não informado	42.047	19,17
Total	219.307	

Faixa etária dos óbitos por Covid-19		
0 a 9 anos	21	0,42
10 a 19 anos	21	0,42
20 a 29 anos	58	1,15
30 a 39 anos	172	3,40
40 a 49 anos	299	5,92
50 a 59 anos	539	10,67
60 a 69 anos	1.104	21,85
mais de 70 anos	2.838	56,18
Total	5.052	
Óbitos por sexo		
homem	3.063	61
mulher	1.989	39
Quadro de comorbidade dos óbitos		
com comorbidades	4.259	84
sem comorbidades	793	16

Tabela 1 – Descrição dos casos da Covid-19 no período de março de 2020 a fevereiro de 2021, no Maranhão.

Fonte: Adaptado SES/ MA -Boletins Covid-19 (março de 2020 a fevereiro de 2021).

Considerando a quantidade de leitos totais, disponibilizados no último boletim epidemiológico, temos 376 leitos de UTI e 831 leitos de enfermaria (SES, 2021). Os custos do tratamento ambulatorial e hospitalar, assim como o custo por leitos exclusivos para Covid-19 foram extraídos do domínio SIGTAP/DATASUS e foram estimados desde a admissão até a alta do paciente. Os componentes de custos considerados são descritos na Tabela 2.

AIH	Custos na enfermaria	Custos na UTI
Serviço Hospitalar	R$: 1.195,99	R$: 1.372,80
Serviço Profissional	R$: 304,01	R$: 227,20
Total Hospitalar	R$: 1.500,00	R$: 1.600,00

Tabela 2. Custos de AIH em Enfermaria e UTI no tratamento da Covid-19.

Fonte: SIGTAP (2021).

Considera-se os custos em enfermaria para uma média de permanência de cinco dias, permitindo permanência à maior, é de R$ 1.195,99 para o Serviço Hospitalar e de R$ 304,01 para o Serviço Profissional, gerando um valor total hospitalar de R$ 1.500,00. Os custos em UTI representam valores diários, onde R$ 1.372,80 são de Serviço Hospitalar e R$ 227,20 de Serviço Profissional, com valor total hospitalar de R$ 1.600,00.

Segundo o Programa de Apoio ao Desenvolvimento Institucional do Sistema Único de Saúde (PROADI-SUS) a duração média da internação hospitalar foi de 22 dias, com permanência média na UTI de 11,6 dias. Quanto a gravidade da doença, segundo a WHO (2020), em seu Protocolo Clínico, 14% dos casos identificados desenvolvem doença grave, exigindo internação hospitalar e oxigenoterapia, 5% necessitam de internação em Unidades de Terapia Intensiva (UTI), permitindo estimar o custo total dos casos confirmados no Estado. Assim, pode-se estimar que dos 219.307 casos registrados no período, 30.703 (14%) foram tratados em enfermaria e destes, 1.535 (5%) receberam tratamento em UTI.

Considerando que O custo para o leito em enfermaria, para permanência de 5 dias foi de R$: 1.500,00 (que admite Permanência a maior, ou seja, custo até para o dobro de dias, foi de R$ 1.600,00; e o valor referente ao período de tratamento em UTI + enfermaria (considerando os 11,6 dias em UTI + o valor referente ao demais 10,04 dias na enfermaria) foi de 20.060,00 é possível estimar que o custos do tratamento dos casos de Covid-19, no período de estudo, para os casos tratados em enfermaria foi de R$ 49.124.800,00 e na UTI R$ 30.792.100,00 (Tabela 3).

Descrição	Unidade	N	Valor (R$)
Total de Casos	219.307	219.307	
Estimativa % de casos tratados na Enfermaria	14 %	30.703	49.124.800,00
Estimativa de dias de internação	5 a 10 dias	-	-
Estimativa de % casos tratados na UTI	5%	1.535	30.792.100,00
Estimativa de dias de internação	11,6 dias em UTI + 10 dias na enfermaria	-	-

Tabela 3. Estimativa dos custos de tratamento dos 219.307 casos da Covid-19 registrados no Maranhão, no período de março/2020 a fevereiro/2021, por gravidade.

Fonte: Adaptada SES/MA - Boletins Covid-19 SIGTAP/DATASUS + (PROADI-SUS).

Dados de 2021.

Outro dado importante é a comparação dos custos do tratamento com os custos das doses da vacina (Gráfico 1). Os custos de 2 doses de vacina, que segundo a OMS variou de $10 a $55 dólares, esse valor convertido para Real (R$), considerando a taxa de câmbio referente ao dia 28/02/2021, que foi de R$: 5.5296, permite estimar o custo unitário da dose 55$= foi de R$: 304,13, e para duas doses foi de R$: 608,26. E, o custo unitário da dose 10$= foi de R$: 55,03, e para duas doses foi de R$: 110,60.

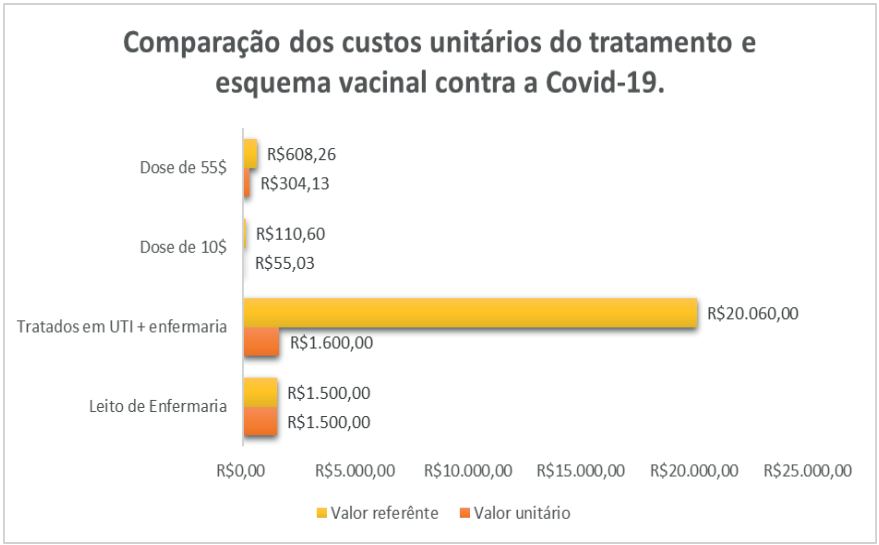


Gráfico 1 - Comparação dos custos unitários do tratamento e esquema vacinal contra a Covid-19.

Fonte: Autores (2021).

Embora globalmente a expectativa de vida saudável — o número de anos que uma pessoa pode esperar ter boa saúde — tenha aumentado constantemente (em mais de 6,5 anos) entre 1990 e 2019, ela não aumentou tanto quanto a expectativa de vida geral, indicando que as pessoas estão vivendo mais anos com problemas de saúde.

Sabe-se que a letalidade de uma doença é variável de região para região de acordo com as diferenças no clima, saúde da população (presença ou ausência de comorbidades), acesso a recursos médicos e medidas preventivas, além da qualidade da notificação de casos. Na nossa pesquisa prevaleceu o acometimento de pessoas com menos de 49 anos e os óbitos prevalecendo entre aqueles com 70 anos ou mais. Na Itália, nação severamente afetada pela Covid-19 no decorrer do mês de março de 2020, as fatalidades registradas compreenderam 13,6% do número de casos, com recorde na região da Lombardia. O aumento na letalidade na Itália em relação à China é justificado pela maior idade dos indivíduos acometidos, com a média sendo 79 anos, que constitui um importante fator de risco para a Covid-19, juntamente com várias demais comorbidades (Di Lorenzo *et al.*, 2020). Na Espanha, país que juntamente com a Itália sofreu de uma onda de infecção severa em março de 2020, as taxas de fatalidade por número de casos ficaram em torno de 11,4%, compreendendo com o grande número de casos o mais alto montante de fatalidades para a primeira fase da pandemia. As taxas de letalidade mais baixas para o número de casos registrados neste período ocorreram na Alemanha, com cerca de 4% e Coréia do Sul, com apenas 2,8% (Tesárková, 2020).

No Brasil, a taxa de letalidade calculada para a Covid-19 ao longo da primeira onda de infecções apresentou ampla disparidade entre os estados, como observa-se no estudo

realizado por (DE SOUZA *et a*l., 2020) o qual constatou que na Semana Epidemiológica nº 14 - SE-14, às maiores taxas presenciaram-se nos estados do Piauí (18,18%), Rondônia (9,09%) e Alagoas (8,7%). Segundo o mesmo estudo, de modo geral, nas semanas seguintes observou-se uma preponderância das mais altas taxas de letalidade nos estados das regiões nordeste e norte, enquanto o maior número de óbitos ocorreu na região sudeste (De Souza *et al*., 2020). O motivo da maior letalidade nos estados do nordeste é justificado pela relativa falta de acesso de sua população a recursos de saúde como ventiladores, leitos e medicamentos (condição que também pode ser ocasionada pela sobrecarga no sistema de saúde em períodos de alto contágio).

No Maranhão, estado alvo deste presente estudo, as mesmas circunstâncias para a taxa de letalidade no restante do nordeste se aplicam no primeiro momento da pandemia, com uma letalidade reportada em 5,82% no dia 30 de abril de 2020. Tal porcentagem sofreu significativa diminuição no decorrer da pandemia ao que estratégias de contenção e tratamento foram desenvolvidas, caindo para 2,77% em 31 de maio, 2,27% em 31 de agosto, e 2,24% no dia 31 de dezembro de 2020 (SES-MA, 2020). No decorrer do primeiro semestre de 2021 a letalidade saltou significativamente, alcançando 2,73% ao dia 30 de abril (2021) e mantendo-se acima deste valor no restante do semestre, o que se atribui à segunda onda de infecções em território nacional e o estresse acarretado pela mesma no Sistema de Saúde do Estado (SES-MA, 2020).

Ademais, observa-se na análise das taxas de letalidade a sua grande variação de acordo com a faixa etária e o sexo afetados. Na maioria das regiões afetadas mundialmente, a Covid-19 apresentou maior letalidade para os idosos (grupos acima de 60 anos) e para indivíduos do sexo masculino, corroborando com os nossos achados. Entre os motivos para tal discrepância foram elencadas as diferenças no estilo de vida (ao exemplo do tabagismo, que é mais prevalente em homens) e a maior propensão à reações inflamatórias e a menor contagem de células T e B na corrente sanguínea, decorrentes da senescência no organismo masculino se comparado ao feminino, tornando-o mais suscetível à infecções (Lumbreras-Marquez *et al*., 2020).

Por meio das internações hospitalares de pacientes com Covid-19 registradas com o procedimento código 03.03.01.022-3, conforme orientação da Portaria nº 245, de 24 de março de 2020 e Orientações técnicas para operacionalização do SIH-SUS durante o estado de emergência de saúde pública por coronavírus publicado em 13 de agosto de 2020, pelo Ministério da Saúde, fica evidente o impacto que tais internações geram no sistema de saúde. Embora as internações pagas pelo SUS não representem a totalidade dos casos que necessitam de internação hospitalar, o caráter de evolução progressiva com o qual se desdobra o quadro clínico do infectado confere grande cobertura de assistência ao SIH-SUS para essas internações (Santos *et al.*, 2021).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estima-se que o custo unitário do tratamento hospitalar na enfermaria foi R$ 1.500,00 e para os casos tratados em UTI de R$ 20.060,00. Os dados aqui apresentados referem-se a um recorte temporal delimitado, que permite avaliar o início da pandemia no Brasil. Identificou-se que os gastos públicos representados pelas internações para tratamento da infecção pelo coronavírus, entre os meses de fevereiro e dezembro de 2020, tiveram custo de mais de 2,2 bilhões de reais.

Ademais, os resultados ora apresentados permitem inferir que as internações para tal fim foram mais onerosas se comparadas àquelas para tratamento de IRA e pneumonias ou influenza. Por meio desse tipo de estudo é possível quantificar os recursos gastos pelo SUS; analisar os custos relacionados à doença e comparar diferentes intervenções, a fim de subsidiar a escolha da melhor delas, como por exemplo, para além dos custos intangíveis, comparar os custos do tratamento com os custos da vacina, que segundo a OMS, varia entre $10 a $55 dólares por dose e ampliar a discussão, com estudo futuros quão efetivos são os esquemas vacinais e quão custo-efetivo é a Política de Imunização da população.

AGRADECIMENTOS

OLIVEIRA, A E P – À Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão – FAPEMA pela concessão da Bolsa de Iniciação Científica e a Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão UEMASUL.

REFERÊNCIAS

ABDULJALIL, J. M.; ABDULJALIL, B. M. Epidemiology, genome, and clinical features of the pandemic SARS-CoV-2: a recent view. **New microbes and new infections**, v. 35, p. 100672, maio 2020.

ARAUJO, D. V. **Methodological guide for cost of illness studies in Latin America and Caribbean**. 2011.

BRASIL, M. DA S. **Estudos De Microcusteio Aplicados a Avaliações Econômicas em Saúde**. Disponível em: <https://rebrats.saude.gov.br/images/Documentos/Diretriz_Metodologica_Estudos_de_Microcusteio_Aplicados_a_Avaliacoes_Economicas_em_Saude.pdf>. Acesso em: 1 out. 2021.

DE SOUZA, W. M. et al. Epidemiological and clinical characteristics of the COVID-19 epidemic in Brazil. **Nature Human Behaviour**, v. 4, n. 8, p. 856–865, 2020.

DE WIT, E. et al. SARS and MERS: recent insights into emerging coronaviruses. **Nature Reviews Microbiology**, v. 14, n. 8, p. 523–534, 2016.

DI LORENZO, G. et al. COVID 19 therapies and anti-cancer drugs: A systematic review of recent literature. **Critical reviews in oncology/hematology**, v. 152, p. 102991, 2020.

DIAS, V. M. DE C. H. et al. Orientações sobre Diagnóstico, Tratamento e Isolamento de Pacientes com COVID-19. **Journal of Infection Control**, v. 9, n. 2, p. 56–75, 2020.

DRUMMOND, M. F. et al. **Methods for the economic evaluation of health care programmes**. Oxford University Press, 2005.

LUMBRERAS-MARQUEZ, M. I. et al. Maternal mortality from COVID-19 in Mexico. **International journal of gynaecology and obstetrics: the official organ of the International Federation of Gynaecology and Obstetrics,** v. 150, n. 2, p. 266–267, 2020.

NUNES, S. E. A. **Estimativa dos custos da doença pneumocócica e estudo de custo-efetividade da introdução universal da vacina anti-pneumocócica 10 valente no Brasil**. 2014. 179. Tese (Doutorado em Medicina Tropical e Saúde Pública) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

OLIVEIRA, M. L.; SANTOS, L. M. P.; DA SILVA, E. N. Bases metodológicas para estudos de custos da doença no Brasil. Revista de Nutricao, v. 27, n. 5, p. 585–595, 2014.

PROADI-SUS. PROADI-SUS no combate à COVID-19. Disponível em: <https://hospitais.proadi-sus.org.br/covid19>. Acesso em: 1 out. 2021.

QU, J.-M.; CAO, B.; CHEN, R.-C. Respiratory virus and COVID-19. **COVID-19**, p. 1–6, 2021.

SANTOS-NETO, A. G. dos et al. COVID-19: Diagnostic methodologies. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, p. e48810515114, 2021.

SANTOS, H. L. P. C. dos et al. Public expenditure on hospitalizations for COVID-19 treatment in 2020, in Brazil. **Revista de Saúde Pública**, v. 55, p. 52, 2021.

SECOLI, S. R. et al. Health technology assessment. II. Cost effectiveness analysis. **Arquivos de Gastroenterologia**, v. 47, n. 4, p. 329–333, 2010.

SES. Boletins COVID-19 – Portal da Secretaria de Estado da Saúde. Disponível em: <https://www.saude.ma.gov.br/boletins-covid-19/>. Acesso em: 1 out. 2021.

SIGTAP. **Sistema de Gerenciamento da Tabela de Procedimentos**, **Medicamentos e OPM do SUS**. Disponível em: <http://sigtap.datasus.gov.br/tabela-unificada/app/sec/inicio.jsp>. Acesso em: 1 out. 2021.

TAN, S. S. **Microcosting in economic evaluations : issues of accuracy, feasibility, consistency and generalisability**. S.l.: s.n.], 2009.

TESÁRKOVÁ, K. H. Demographic aspects of the COVID-19 pandemic in Italy, Spain, Germany, and South Korea. **Geografie**, v. 125, n. 2, p. 139–170, 9 jun. 2020.

VANNI, T.; LUZ, P.; RIBEIRO, R. **Avaliação econômica em saúde: aplicações em doenças infecciosas**. HMD Novaes - Cadernos de Saúde, 2009.

WU, D. et al. The SARS-CoV-2 outbreak: What we know. **International Journal of Infectious Diseases**, v. 94, p. 44–48, 2020.

CAPÍTULO 12

POTENCIAL ECONÔMICO E MEDICINAL DAS ESPÉCIES DE *PARMELIACEAE* ENCONTRADAS NO CENTRO-SUL DO MARANHÃO E EXTREMO NORTE DO TOCANTINS

Data de aceite: 01/09/2023

Iane Paula Rêgo Cunha Dias
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
Imperatriz-MA
https://orcid.org/0000-0002-6155-1274

Maria de Lourdes Lacerda Buril
Instituição de ensino, faculdade ou departamento
Recife-PE
https://orcid.org/0000/0002/2909-8908

Allison Bezerra de Oliveira
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
Imperatriz-MA
https://orcid.org/0000-0003-0320-5661

Eugênia Cristina Pereira
Universidade Federal de Pernambuco
Recife-PE
https://orcid.org/0000-0002-5281-0938

RESUMO: Este trabalho demonstra que as substâncias fenólicas encontradas no líquen da Região Tocantina (centro-sul do Estado do Maranhão e norte do Estado do Tocantins, Brasil) podem ser utilizadas para fins econômicos e medicinais, segundo ensaios de detecção por cromatografia em camada delgada e reações químicas específicas a este grupo artificial, como teste de coloração do talo, uso de luz ultravioleta e microcristalização. Os resultados foram comparados com dados da literatura sobre as propriedades das substâncias liquenizadas. Foi demonstrado que 45 espécies produzem metabólitos secundários. Vinte e cinco substâncias foram identificadas; dos quais 23 possuem algum tipo de bioatividade e/ou importância econômica. Também foram detectadas três substâncias ainda não identificadas, provavelmente novos compostos. Concluiu-se que a Região Tocantina é uma área promissora para a bioprospecção de compostos liquenizados, e o emprego da biotecnologia será uma ferramenta útil para o uso sustentável de seus recursos naturais.
PALAVRAS-CHAVE: compostos bioativos, substâncias de líquen, fenólicos de líquen, bioprospecção de líquen, biotecnologia de líquen

ECONOMIC AND MEDICINAL POTENTIAL OF *PARMELIACEAE* SPECIES FOUND IN SOUTH-CENTRAL MARANHÃO AND EXTREME NORTH OF TOCANTINS

ABSTRACT: his paper demonstrates that phenolic substances occurred in lichen of Tocantinean Region (centre-south of Maranhão State and northern of Tocantins State, Brazil) can be used for economic and medicinal purposes, according to detection assays through thin layer chromatography and specific chemical reactions to this artificial group, as thallus color test, use o ultraviolet light and micro-crystallization. The results were compared with literature data about lichen substances properties. It was shown that 45 species produce secondary metabolites. Twenty-five substances were identified; of which 23 have any kind of bioactivity and/or economic importance. Three substances not yet identified were also detected, probably new compounds. It was concluded that the Tocantinean Region is a promissory area for bioprospection of lichen compounds, and the employment of biotechnology will be a useful tool for sustainable use of their natural resources.
KEYWORD: bioactive compounds, lichen substances, lichen phenolics, lichen bioprospecting, lichen biotechnology

1 | INTRODUÇÃO

Os liquens produzem muitas substâncias de natureza fenólica que são os depsídeos, as depsidonas, os dibenzofuranos, as antraquinonas, os ácidos úsnicos, as xantonas, entre outras (Elix, 1996). Muitos desses compostos são exclusivos, não sendo encontrados em nenhum outro grupo de organismos (Mateos, et al, 1993).

São conhecidos aproximadamente 630 compostos provenientes do metabolismo secundário dos fungos liquenizados (Elix, 1996), muitos deles com importantes atividades biológicas, tais como: antimicrobiana (Xavier, Filho *et al.,* 1990); antifúngica (Yamamato, *et al*., 1993) antiflamatório (Orange *et al.,* 2001); antitumoral, antiviral e imonomoduladora (Stuep-Campelo *et al.,* 2002). Sabe-se também de suas propriedades antioxidantes, o que pode se relacionar o estudo das substâncias liquênicas a diversas doenças como as cardiovasculares, o câncer diabetes, além dos males de Alzheimer e Parkinson (Pinedo, 2007) Dessa forma, demonstram seu potencial econômico e medicinal.

Substâncias liquênicas

Do ponto de vista químico, os liquens foram estudados, desde o início do século 19 (Ribeiro, 1998), mas somente em 1898, tiveram seus estudos desenvolvidos com os trabalhos de Hesse (1912), aos quais se seguiram os trabalhos de Zopf (1905).

Asahina & Shibata (1954) publicaram os resultados de suas pesquisas no livro *Chemistry of Lichens Substances*, demonstrando que as chamadas substâncias liquênicas de Zopf pertenciam às mais diversas classes: depsídeos (ésteres de duas ou mais unidades de ácidos hidroxibenzóicos), depsidonas (biogeneticamente derivam dos depsídeos através de acoplamento oxidativo intramolecular), dibenzofuranos (que correspondem às

substâncias liquênicas mais importantes do ponto de vista histórico e de aplicação), ácidos alifáticos e alicíclicos, derivados do ácido pulvínico, xantonas, quinonas, benzoquinonas, cromanonas, depsonas, triterpenos, carboidratos, alcoóis poliídricos, aminoácidos e derivados dicetopiperazínicos.

As substâncias produzidas por liquens são agrupadas, de acordo com a localização no talo, em produtos intracelulares e extracelulares. Como o talo liquênico tem uma estrutura composta, alguns produtos são sintetizados pelo fungo, ou pela alga, outros a partir de ação conjunta dos dois simbiontes (Nash, 1998).

Potencial econômico das substâncias liquênicas

Do ponto de vista econômico, deve ser destacado o papel dos liquens como alimento de animais, na fabricação de bebidas fermentadas (costume praticado até o século 19, principalmente na Suécia e na Rússia, na fabricação de aguardente), como veneno (ácidos vulpínico e pinástrico), na cosmética e perfumaria (largamente utilizado na formulação de *Chipes*v e dos chamados perfumes orientais, sendo a França o principal produtor), como tanantes (no curtimento de peles) e pelas propriedades tintoriais (orcela, parietina) (Llano, 1951).

Potencial medicinal das substâncias liquênicas

A referência da utilização do líquen na terapêutica popular remonta há milênios. Fragmentos de *Pseudevernia furfuracea* foram encontrados em vasos da XVII dinastia egípcia, cerca de 1700 a.C. Sabe-se que esta espécie possui compostos eficazes contra microrganismos patogênicos, notadamente as bactérias Gram positivas. Além disso, *P. furfuracea* era também empregada na mumificação cadáveres (Seu-Salermo *et al.,* 1987).

Desde então, vários trabalhos vêm comprovando a eficiência das substâncias liquênicas, desde relatos de seu uso em práticas cirúrgicas, para evitar formações de quelóides e contra infecções urinárias (Nash; Elix, 2002), aos que abordam ação antiespasmódica, espamolítica, histamínica, hipotensiva, hipoglicemiante, neuromuscular e analgésica (Appa-Rao, 1987).

2 | MATERIAL E MÉTODOS

As amostras usadas para identificação das substâncias químicas foram coletas segundo Brodo *et al*. (2001) e Ribeiro (1998). Para a identificação das substâncias foram realizados testes de coloração do talo. Foram gotejados com tubos capilares hidróxido de potássio, ou hipoclorito de cálcio ou, simultaneamente, hipoclorito de cálcio sobre hidróxido de potássio, tanto na superfície, para identificação de substâncias corticais, como na medula, por escarificação com estilete, ou ainda em estruturas reprodutivas.

Os ensaios de microcristalização foram procedidos a partir da extração das substâncias totais do talo, utilizando a acetona em lâminas de microsocópio. Após evaporação do solvente, foram gotejados os reagentes G.A.W. (glicerina, álcool e água – 1:1:1) ou G.E. (glicerina e ácido acético glacial – 1:3). A formação de microcristais foi observada sob microscópio ótico (marca, aumento, etc.) e suas formas/coloração comparadas às da literatura (Huneck; Yoshimura, 1999).

O teste de fluorescência foi realizado a partir da exposição do talo a lâmpada de ultravioleta (UV). Os resultados são considerados positivos, quando emitida alguma fluorescência colorida (dourado, azul, vermelho e prata) resultante da intercalação de ligações duplas e simples, o que indica a presença de fenóis liquênicos.

Para os ensaios de cromatografia em camada delgada (CCD) foram utilizadas placas de sílica gel $F_{254+366}$ Merck (20 x 20 cm), sobre as quais aplicaram-se extratos acetônicos das amostras de liquens estudadas. As placas foram desenvolvidas de forma unidimensional nos sistemas de solventes A (tolueno: dioxano: ácido acético, 90:25:4, v/v) e B (n-hexano: éter dietílico: ácido fórmico, 5:4:1, v/v). Após evaporação dos solventes, as placas foram borrifadas com H_2SO_4 a 10% e aquecidas a 100 ºC por 15 minutos (Orange *et al.,* 2001).

3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram identificadas 45 espécies coletadas em 13 municípios pertencentes ao centro-sul do estado do Maranhão e extremo norte do estado do Tocantins, que fazem parte da região Tocantina (Sousa, 2009). Nessas espécies foram identificadas 25 substâncias (Tabela 1), das quais 23 (92%) têm atividade biológica e/ou importância econômica comprovada na literatura.

A região é promissora no ponto de vista da bioprospecção, pois três substâncias não foram identificadas, sendo provavelmente inéditas e com possível potencial econômico e/ou medicinal.

Das substâncias detectadas nas amostras, foram identificados pelo menos 20 tipos de atividade biológica e 10 formas de uso econômico (Tabelas 1 e 2).

Espécies	Substâncias liquênicas
***Bulbothix continua* (Lynge) Hale**	Atranorina, ácido salazínico
***B. fungicola* (Lynge) Hale**	Atranorina, ácido girofórico
***B. sipmanii* Aptroot & Aubel**	Atranorina, ácido girofórico
***B. subdissecta* (Nylander) Hale**	Atranorina, ácidos girofórico, lecanórico, lobárico, e oxolobárico
***B. regenelliana* Jungbluth, Marcelli & Elix**	Atranorina, ácidos girofórico e salazínico
***Canoparmelia mazônica* (Nyl.) Elix & Hale**	Atranorina, ácido protocetrárico
***C. crozalciana* (B. de Lesd.) Elix & Hale**	Atranorina, ácido estítico
***C. cryptochlorophaea* (Hale) Elix & Hale**	Atranorina, ácidos caperático e criptoclorofeico

***C. martinicana* (Nyl.) Elix & Hale**	Atranorina, ácidos protocetrárico, girofórico e, norlobaridona
***C. salacinifera* (Hale) Elix & Hale**	Atranorina, ácidos consalazínico, salazínico.
***C. texana* (Tuck.) Elix & Hale**	Atranorina, ácido divaricático
***Hypotrachyna malmei* (Lynge) Hale**	Liquexantona, ácidos protocetrárico e alectorônico
***Parmotrema affluens* Hale**	**ácidos** protocetrárico e equinocárpico
***P. auranticupavum* (Zahlbr.) Hale**	Atranorina, esquirina
***P. crassescens* (Stirt.) Hale**	Atranorina, ácido nortistico
***P. cristiferum* (Taylor) Hale**	Atranorina, ácido salazínico
***P. cristatum* (Nyl.) Hale**	Atranorina, ácido protocetrárico
***P. cornigerum* Kurokawa**	Ácido protocetrárico
***P. dilatatum* (Vain.) Hale**	Atranorina, ácido equinocarpico
***P. elacinulatum* (Kurok.) Streimann**	Atranorina, ácido protocetrárico
***P. endosulphureum* (Hilmann) Hale**	Atranorina, ácido girofórico
***P. gardneri* (Dodge) Sérus**	Ácidos protocetrárico e girofórico
***P. gradsteinii* Aubel**	Atranorina, ácidos girofórico e lecanórico
***P. hababianum* (Mull. Arg.) Hale**	Atranorina, norlobaridona
***P. latissimum* (Fée) Hale**	Atranorina, ácido salazínico
***P. louisianae* (Hale) Hale**	Ácido alectorônico
***P. melanochaetum* (Kurok.) Blanco, Crespo, Divakar, Elix & Lumbsch**	Atranorina, ácido girofórico
***P. mesogenes* (Nyl.) Hale**	Atranorina
***P. mesotropum* (Mull. Arg.) Hale**	Atranorina
***P. mordenii* (Hale) Hale**	Atranorina, ácidos caperático e protoliquesterinico
***P. praesorediosum* (Nyl.) Hale**	Atranorina, ácidos praesorediósico, Caperático e protoliquesterínico
***P. rubifaciens* (Hale) Hale**	Atranorina, ácido nortístico
***P. subochraceum* Hale**	Atranorina, ácido protocetrárico
***P. stuppeum* (Taylor) Hale**	Atranorina, ácido salazinico
***P. tinctorum* (Despr. Ex Nyl.) Hel**	Atranorina, ácidos lecanórico e orselínico
***P. wrightii* Ferraro & Elix**	Atranorina, ácidos equinocarpico e nortístico
***P. zollingeri* (Hepp) Hale**	Atranorina, ácidos fumarprotocetrárico, protocetrárico e succinprotocetrárico
***Parmotremopsis antillensis* (Nyl.) Elix & Hale**	Atranorina, ácido nortístico
***Pseudoparmelia kalbiana* Elix & Nash**	Ácidos secalônico e hipoestítico
***P. hypomiltha* (Fée) Hale**	Ácido secalônico
***P. uleana* (Mull. Arg.) Elix & Nash**	Ácido secalônico
***Parmelinella wallichiana* (Taylor) Elix & Hale**	Atranorina, ácidos consalazínico e salazínico
***Relicina abstrusa* (Vain.) Hale**	Ácido úsnico, ácidos norstíctico, conorstítico e criptoestítico
***R. subabstrusa* (Gyeln.) Hale**	Atranorina e ácido salazinico
***Xantoparmelia catariane* Hale**	Ácidos estitíco, constítico, criptoestítico e úsnico

Tabela 1: Espécies coletadas e substâncias liquênicas identificadas.

SUBSTÂNCIAS LIQUÊNICAS	UTILIZAÇÃO ECONÔMICA	UTILIZAÇÃO MEDICINAL
Ácido alectorônico	-	Antiinflamatório
Ácido caperático	Inibidor da herbivoria	-
Ácido criptoclorofeico	-	Inibidor da síntese de prostaglandinas
Ácido divaricático	-	Antimicrobiano Antioxidante Fotoprotetor
Ácido estítico*	Retardante no crescimento larval de *Spodoptera*	Atividade antimicrobiana (reduzida) Inibidor da HIV-1 integrase Citotóxico
Ácido equinocárpico	-	-
Ácido fumarprotocetrárico*	Inibidor do crescimento de plantas superiores, da herbivoria e retardo no desenvolvimento larval de *Spodoptera* Produção de perfumes (fixador) e loção pós-barba – *Evernia prunastri*	Antibiótico Antimicrobiano Bactericida
Ácidos graxos	-	Atividade antitumoral
Ácido girofórico	Produção de tinta e corante Inibidor de fotossíntese (PSII) (potencial herbicida)	Antiproliferativo (Inibidor do crescimento de queratinócitos, potente atividade contra doenças de pele como psoríase) Anticancerígeno Inibidor da síntese de colesterol Protetor solar
Ácido isoúsnico	Inibidor no crescimento de plantas Desodorante Pasta de dente Preservativo em cosméticos	Anticancerígeno Antimicrobiano Fungicida
Ácido lecanórico	Inibidor de fotossíntese (PSII) (potencial herbicida) Produção de tinta e corante (cor púrpura)	Antibacteriano Antioxidante Micotóxico
Ácido lobárico	-	Antibacteriano Antiproliferativo Inibidor da 5-lipoxigenase (atuante em processos patofisiológicos como inflamações)
Ácido olivertórico		Anti-angiogênico Antimicrobiano Antifúnigico
Ácido orselínico	Degradação de rochas Inibidor no crescimento de plantas Produção de perfume	
Ácido protocetrárico	-	Atividade antimicrobiana (reduzida) Antiinflamatório

Ácido protoliquesterinico	-	Alívio à úlcera gástrica e duodenal Antibiótico Antiproliferativo(inibição da multiplicação celular) Antitumoral Inibidor da 5-lipoxigenase
Ácido secalônico	Tóxico	Causa Peritonite Micotóxico Teratogênico
Ácido salazínico	Produção de corante (cor marrom em Harris Tweed)	Antibacteriano Inibidor da HIV-1 integrase
Ácido vulpínico	Produção de tintas e corantes (cor amarelo-esverdeado até amarelo vivo) Rituais- *L. vulpina* (para dar boa sorte ou proteger nas batalhas)	Antibacteriano Antiinflamatório Chá contra problemas estomacais como úlcera
Ácido úsnico	Desodorante Herbicida Pasta de dente Preservativo em cosméticos em creme Produção de perfum Produção de tinta Regulação no crescimento de plantas Tóxico	Analgésico Antibiótico Anticancerígeno e antitumoral Anti-histamínico Antiinflamatório Antimicobacteriano Antimitótico Antipirético Antiproliferativo (eficiente contra psoríase) Antisséptico Antiviral Citotóxico Combate à Leishmaniose Gastroprotetor Protetor UV Tratamento da tuberculose Tratamento de feridas e queimaduras
Atranorina	Fixador de perfume e loção pós-barba Inibidor de herbivoria e desenvolvimento larval de *Spodoptera* Inibidor no crescimento de plantas	Antibacteriano Antibiótico Anticancerígeno e antitumoral Antiinflamatório Antimicrobiano Antioxidante Protetor solar Inibidor da elastase e tripsina Micotóxico
Esquirina	-	Antioxidante Tratamento da diabetes
Norlobaridona	-	Antiviral

Tabela 2: Utilização econômica e medicinal das substâncias liquênicas identificadas nas espécies encontradas no centro-sul do estado do Maranhão e extremo norte do estado do Tocantins

Fonte: Segundo Abrahan *et al*., 1949; Bucar *et al*., 2004; Bustiza, 1951; Bustiza *et al*., 1948; Carneiro-Leão *et al*., 1997; Carvalho *et al*., 2005; Dyhat *et al*., 2007; Elix 1996; Esimone *et al*., 1993; Giez *et al*., 1994; Higuchi *et al*., 1993; Hirabayashi *et al*., 1989; Hirayama *et al*., 1980; Kortenkangan *et al*., 1956; Koporal *et al*., 2010; Legaz, 2006; Marijana *et al*., 2010; Molnar *et al*., 2010; Muller, 2001; Nimis *et al*., 2006; Okuyama *et al*., 1995; Pereira, *et al*., 1994; Perry *et al*., 1999; Sheinman, 1996; Slanskys, 1979; Turk, *et al*., 2006; Upadhyay, 2002; Vartia, 1950; Vargas, *et al*., 2008; Vijayakumar, 2000; Yilmaz, 2004.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os liquens da região Tocantina apresentaram substâncias com potencial econômico e medicinal, das mais variadas formas. O uso da biotecnologia poderá auxiliar na otimização de uso dessas substâncias. Portanto, a produção e uso dos recursos naturais de forma sustentável, com vistas à bioconservação e, a bioprospecção de metabólitos liquênicos na região Tocantina são consideradas viáveis.

REFERÊNCIAS

ABRAHAN, E. P.; FLOREY, H. W. **Antimicrobial substances from lichens and algae. In: Antibiotic**. v. 1, cap. 13, p. 566-575. 1949.

APPA-RAO, A. V. N.; PRABHAKAR, M. C. Pharmacological actions of leprapinic acid, a lichen metabolite. **Fitoterapia**, v. 58, n. 4, 1987. p. 221-228.

ASAHINA, Y.; SHIBATA, S. **Chemistry of Lichen Substances. Japan Society for the Promotion of Science**. Ueno, Tóquio. 1954. 240p.

BRODO, I.M.; SHARNOFF, S.D.; SHARNOFF, S. **Lichens of North America**. Yale University Press. New Haven e London. 2001. 795p.

BUCAR, F., SCHNEIDER, I., ÖGMUNDSDÓTTIR, H. O, INGÓLFSDÓTTIR, K., Anti-proliferative lichen compounds with inhibitory activity on 12(S)-HETE production in human platelets. **Phytomedicine**. 11. 2004. 602–606p.

BUSTINZA, F. Contribución al estudio de las propriedades antibacterianas y antifungicas del ácido úsnico y algunos de sus derivados. **Ann. Inst. Bot. A. J. Cavanilles**, v. 10, 1951. p. 157-175.

BUSTINZA, F.; CABALLERO, A. Contribución al estudio de los antibióticos procedentes de liquenes. **Ann. Inst. Bot. Madrid**, v.7, 1948. p. 511-548.

CARNEIRO-LEÃO, A.M.A.; FREITAS B.D.; IACOMINI, M.; GORIN, P.A.J.; OLIVEIRA, M.B.M. Cytotoxic effect against hela cells of polysaccharides from the lichen Ramalina celastri. J. submicroscopy cytol. **And pathol**, v. 29, 1997. p. 503-509.

CARVALHO, E.A.; PEREIRA, E.C.G.; SILVA, N.H.; FIGUEIREDO, R. Effects os usnic acid from *Cladonia substellata* on *Trypanosoma cruzi* in vitro: na ultrastructural study. **Micron**, Estados Unidos, v. 36, n. 1, 2005. 155-161p.

DVHAT, F.L.D.; TOMASI, S.; ELIX, J.A.; BERNARD, A.; ROUAUD, I.; URIAC, P.; BOUSTIE, J.; Acid Derivatives from the Lichen *Usnea articulata* and Their Antioxidant Activities, **Journal of Natural Products**, v. 70, 2007. 1218-1220 p.

ELIX, J.A. **Biochemistry and secondary metabolites**. In. *Lichen Biology*, Nash III, T.H. (ed.) 1st. ed. Cambridge, Cambridge University Press, 1996. 154-180 p.

ESIMONE, C.O.; ADIKWA, M.V. Antimicrobial activity and citotoxicity os Ramalina farinaceae. **Fitoterapia**, v. 70, 1993. p. 428-431.

GIEZ. L.; LANGE, O.T.; PROKSCH P. Growth retarding activity of lichen substances against the polyphagous herbivorous insect *Spodoptera littoralis***. Biochemical Systematics and Ecology,** v.22, n. 2, p. 113-120, 1994.

HESSE, O.; DIE FLECHTENSTOFFE. E. Aberhalden (ed.), **Biochemisches Handlexikon**. VI1 Band. Julius Springer, Berlin. 1991. p. 32-144

HIGUCHI, M.; MIURA, Y.; BOOHENE, J.; KINOSHITA, Y.; YAMAMOTO, Y.; YOSHIMURA, I.; YAMADA, Y.; Inhibition os tyrosinase activity by cultured lichen tissues anbionts. **Planta Medica**, v. 59, p. 253-255, 1993.

HIRABAYASHI, K.; IWATA, S.; ITO, M.; SHIGETA, S.; NAURI, T.; MORI, T.; SHIBATA, S. Inhibitory effect of a lichen polysaccharide sulfate, GE-3-S, on the replication of human immunodeficiency virus (HIV) *in vitro*. **Chem. Pharm. Bull.,** v. 37, p. 2410-2412, 1989.

HIRAYAMA, T, FUJIKAWA, F, KASAHARA, T, OTSUKA, M, NISHIDA, N AND MIZUNO, D. Anti-tumor activities of some lichen products and their degradation products. **Yakugaku Zasshi**, v. 100, p. 755–759, 1980.

HONDA, N.K., VILEGAS, W. A química dos liquens. **Química Nova**, v. 21, n. 6, p. 110-125p. 1998.

HUNECK, S.; YOSHIMURA, I. **Identification of lichen substances**. Springer, Berlin, 1996. 493 p.

INGÓLFSDÓTTIR, K. **Usnic acid. Phytochemistry**. 61. 729-736 p. 2002.

LLANO, G.A. Economic uses of lichens**. Smithsonian Institution Publ**., vol. 4040, p. 385 – 422, 1951.

KORTENKANGAS, A. E.; VIRTANEN, O. E. The antibiotic activity of some amino compound derivatives of usnic acid. **Soumen Kemistilehti**, v. 19, p. 2-4, 1956.

KOPARAL, A.T., ULUS, G., ZEYTINOGLU, M., TAY AND TÜRK, A, Ö. Angiogenesis inhibition by a lichen compound olivertoric acid. **Phytotherapy Research**, 24.p. 754-758, 2010.

LEGAZ, M.E. Importância Econômica dos liquens para o homem. In: XAVIER FILHO, L. et al. **Biologia de Liquens**. Rio de Janeiro: âmbito Cultural. 2006.

MARIJANA, K., BRANISLAV, R., SLOBODAN, S. Antimicrobial activity of the lichen Lecanora frustulosa and Parmeliopsis hyperopta and their divaricatic acid and zeorin constituents. **African Journal of Microbiology Research**, v. 4, n. 9, p. 885-890, 2010.

MATEOS, J.L.; PEDROSA, M.M.; MOLINA, M.C.; PEREIRA, C.E.; VICENTE C.; LEGAZ, M.E. Imvolvement of phytochrome-medialed cyclic AMP inthe synthesis and deposition hyphae of Cladonia verticillaris. **Plant Physiol. And Biochem**, v. 31, p. 667-674, 1993.

MOLNAR, K.; FARKAS, E. Current Results on Biological Activities of Lichen secondary Metabolites: a Review. **Z. Naturforsch**. 65 c, p. 157 – 173. 2010.

MÜLLER, K. Pharmaceutically relevant metabolites from lichens. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 56, n. 1-2, p. 9-16, 2001.

NASH III, T.H & ELIX, J.A. A. BULBOTHRIX. IN: NASH III, T.H., RYAN, B.D., GRIES, C. & BUNGARTZ, F. (eds.). **Lichen Flora of the greater Sonoran Desert Regio**n. Volume 1. Arizona State Universitey, Tempe, Arizona, USA. p. 114-116. 2002.

NIMIS P.L.; SKERT, N. Lichen chemistry and selective grazing by the coleopteran Lasioderma serricorne. **Environmental and Experimental Botany**, v.55, p. 175–182, 2006.

OKUYAMA, E., UEYAMA, K., YAMAZAKI, M., Y., YAMAMOTO, Y. Usnic acid and diffractaic acid as analgesic and antipyretic components of *Usnea diffracta*. **Planta Med**., v. 61, n. 2, p. 113-115. 1995.

ORANGE, A.; JAMES, P.W.; WHITE, F.J. **Microchemical methods for the identification of lichens**. British Lichen Society. 101 pp, 2001

PEREIRA, E. C.; NASCIMENTO, S. C.; LIMA, R. M. C.; SILVA, N. H.; OLIVEIRA, A. F. M.; BOITARD, M.; BERIEL, H.; VICENTE, C.; LEGAZ, M. E. Analysis of Usnea fasciata crude extracts with antineoplasic activity**. The Tokai Journal of Experimental and Clinical Medicine**, v. 19, n. 1, p. 47-52, 1994.

PERRY, N.B., BENNJ, M.H., BRENNAN, N, J., BURGESS, E., J., ELLIS, G., GALLOWAY, D.J., LORIMER, S.D., TANGNEY, R.S. Antimicrobial, antiviral and cytotoxic activity os New Zealand Lichens. **Lichenologist**, v. 31, n. 6, p. 627-636, 1999.

PINEDO, A. T.; PENÃLVER, P.; MORALES, J.C.; Synthesis and Evaluation of New Phenolic- Based antioxidants: Structure-activity relationship, **Food Chemistry,** v. 103, p. 55-61, 2007.

RIBEIRO, C.H. **A família Parmeliaceae (Ascomycota liquenizados) em regiões montanhosas dos estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo.** Dissertação de Mestrado. Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. 194p. 1998.

SEU-SALERNO, M.; BLAKEWAY, J. El perfume. **Investigación y Ciencia**, v. 132, p. 38-481, 1987.

SCHEINMAN, P.M. Allergic contact dermatitis to fragrance: A review. **American Journal of Contact Dermatitis**, v.7, n. 2, p. 65-76, 1996.

SLANSKY, F. Effect of the Lichen Chemicals Atranorin and Vulpinic Acid upon Feeding and Growth of Larvae of the Yellow-striped Armyworm, *Spodoptera ornithogalli*. **Environmental Entomology**. v.8, n.5, p. 865-868, 1979.

SOUSA, J. de M. **A cidade na região e a região na cidade – a dinâmica socieconômico de Imperatriz e suas implicações na região Tocantina**. Editora Ética, Imperatriz-MA. 2009.

STUEP-CAMPELO, P.M.A.; OLIVEIRA, M.B.M.; CARMEIRO-LEÃO, A.M.A.; CARBONERO, E.R.; GORIN, P.A.J.; IACOMINI, M. Effect os solubre α- D- glucan from the lichenized fungus *Ramalina celastri* on macrophage activity. **International immunopharma-cology**, v.2, p. 691-698, 2002

TAY, T.; TÜRK, A.O.; YILMAZ, M.; TÜRK, H.; KIVANÇ, M. Evaluation of the Antimicrobial Activity of the Acetone Extract of the Lichen Ramalina farinacea and its (+)-Usnic Acid, Norstictic Acid, and Protocetraric Acid Constituents. **Z. Naturforsch.** v.59 c, p. 384- 388, 2004.

TÜRK H, YILMAZ M, TAY T, ÖZDEMIR TÜRK A, KIVANÇ M. Antimicrobial activity of extracts of chemical races of the lichen Pseudevernia furfuracea and their physodic acid, chloroatranorin, atranorin, and olivetoric acid constituents. **Z Naturforsch** 61c. p. 499–507, 2006.

UPADHYAY, R.K. **Advances in microbial toxin research and its biotechnological exploitation**. New York: Springer 288p. 2002.

Vartia, K. O. Antibiotics in lichens II. **Ann. Med. Exp. Biol. Fenn.,** v. 28, p. 7-19,1950.

VARGAS, F., RIVAS, C., ZOLTAN, T. LÓPEZ, V., ORTEGA, J., IZZO, C., PINEDA, M., MEDINA, E., ROSALES, L. Antioxidante anda scavenging activity of skyrin on free radical and some reactive oxygen species. **Avances en Química**.,v. 3, n. 1, p. 7-14. 2008.

VIJAYAKUMAR, C.S.; VISWANATHAN, S.; KANNAPPA, R.M.; PARVATHAVARTHINI, S.; KUNDU, A.B.; SUKUMAR, E. Anti-inflamatory activity of (+) – usnic acid. **Fitoterapia**, v. 71, p. 564-566, 2000

YAMAMATO, Y.; MIURA, Y.; HIGUCHI, M.; KINOSHITA, Y.; YOSHIMURA, I. Using lichen tissue cultures in modern biology. **The Bryologist**, v. 96, n. 3, p. 384-393, 1993.

YilMAZ, M.; TÜRK, A.O.; TAY, T.; KIVANÇ, M. The Antimicrobial Activity of Extracts of the Lichen *Cladonia foliacea* and Its (-)-Usnic Acid, Atranorin, and Fumarprotocetraric Acid Constituents. **Z. Naturforsch**. v.59 c, p. 249-254. 2004.

XAVIER-FILHO, L.; LEITE, J.B.M.; LIMA, E.O. Atividade antimicrobiana de liquens antárticos. **Betim da Sociedade Broteriana**, v. 63, p. 93-98, 1990.

ZOPF, W., ZUR KENNTNISS DER FLECHTENSTOFFE. **Justus Liebig's Annalen der Chemie**, Leipzig, v. 340, p. 276-281, 1905.

CAPÍTULO 13

AVALIAÇÃO FISIOLÓGICA DE IPÊ-ROXO (*HANDROANTHUS IMPETIGINOSUS* (MART. EX DC.) MATTOS)), NATIVA DO CERRADO MARANHENSE COMO POTENCIAL FITORREMEDIADOR DE SOLOS CONTAMINADOS

Data de aceite: 01/09/2023

Talita Nicole da Silva Lima
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
Imperatriz – MA
http://lattes.cnpq.br/1420275779048615

Adâmis Nascimento dos Santos
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
Imperatriz – MA
http://lattes.cnpq.br/1807560265008453

Ivaneide de Oliveira Nascimento
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
Imperatriz – MA
http://orcid.org/0000-0001-7095-7092

Jeovania Oliveira Lima
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
Imperatriz – MA
ttp://orcid.org/0000-0001-7465-8540

Gabriel Guzzard Santos da Cruz
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
Imperatriz – MA
http://orcid.org/0009-0007-1060-4747

Jorge Diniz de Oliveira
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
Imperatriz – MA
https://orcid.org/0000-0001-9421-0524

Thatyane Pereira de Sousa
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
Imperatriz – MA
https://orcid.org/0009-0009-1263-0388

Niara Moura Porto
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
Imperatriz – MA
https://orcid.org/0000-0003-3704-7294

RESUMO: O ambiente é continuamente contaminado por ações antrópicas, através de dejetos industriais e agrícolas. Com o avanço da biotecnologia uma proposta promissora é o uso da fitorremediação na despoluição do solo. Neste sentido, o presente trabalho objetivou analisar o comportamento fisiológico do ipê roxo (*Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos)), na fitorremediação de solo contaminado por Mn, Zn e Pb em condições de casa de vegetação. O experimento foi

conduzido em delineamento inteiramente casualizado em fatorial 2 x 3, sendo 2 tratamentos (T1= solo dopado; T2= solo não dopado), 3 datas de avaliações, com seis repetições. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, e as médias comparadas pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. O solo preservado utilizado no experimento, apresentou alta disponibilidade de manganês (Mn), se caracterizou como solo ácido, CTC baixa e teor de matéria orgânica abaixo de 10%. O índice de clorofila, número de folhas, altura de planta e o tamanho da raiz, das plantas de ipê-roxo, apresentaram o mesmo comportamento tanto em solo dopado quanto em solo não dopado. Aos 45 dias o ipê-roxo em solo dopado, alcançou maior altura, maior massa fresca da parte aérea e raiz e seca da parte aérea. Apresentando potencial para ser utilizada como ferramenta na fitorremediação de solos com concentração de Mn (Manganês), Pb (Chumbo) e Zn (Zinco).
PALAVRAS-CHAVE: Espécie do Cerrado, fitorremediação, fisiologia, micronutrientes.

PHYSIOLOGICAL EVALUATION OF IPÊ-(*HANDROANTHUS IMPETIGINOSUS* (MART. EX DC.) MATTOS) NATIVE FROM THE CERRADO MARANHENSE AS A POTENTIAL PHYTOREMEDIATION OF CONTAMINATED SOILS

ABSTRACT: The environment is continuously contaminated by human actions, through industrial and agricultural waste. With the advancement of biotechnology, a promising proposal is the use of phytoremediation in soil depollution. In this sense, the present work aimed to analyze the physiological behavior of the purple ipê (*Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos)), in the phytoremediation of soil contaminated by Mn, Zn and Pb under greenhouse conditions. The experiment was conducted in a completely randomized design in a 2 x 3 factorial, with 2 treatments (T1= doped soil; T2= non-doped soil), 3 evaluation dates, with six replications. The data obtained were subjected to analysis of variance, and the means compared by the Tukey test at a 5% probability level. The preserved soil used in the experiment, showed high availability of manganese (Mn), was characterized as acid soil, low CEC and organic matter content below 10%. Chlorophyll index, number of leaves, plant height and root size of ipê-roxo plants showed the same behavior both in doped soil and in non-doped soil. At 45 days, the ipê-roxo in doped soil reached greater height, greater fresh mass of shoots and roots and dry mass of shoots. Showing potential to be used as a tool in the phytoremediation of soils with concentrations of Mn (Manganese), Pb (Lead) and Zn (Zinc).
KEYWORDS: Cerrado species, phytoremediation, physiology, micronutrientes

1 | INTRODUÇÃO

A natureza tem sofrido continuamente com a ação antrópica, como a falta de tratamento dos esgotos, ou até mesmo dejetos industriais e agropecuários que são jogados indiscriminadamente no meio ambiente prejudicando o mesmo, sendo o solo e as plantas um dos primeiros a serem afetados. Em consequência, diariamente substâncias químicas são dispensadas no ambiente sem o devido tratamento.

Essa poluição que atinge o solo pode ser advinda de metais potencialmente tóxicos (Ali *et al*., 2013), sendo o manganês (Mn), o chumbo (Pb) e o zinco (Zn) os metais

que se encontram presentes no solo. Dentro deste contexto, a biotecnologia oferece a fitorremediação como alternativa capaz de empregar o uso de fotossintetizantes e sua microbiota com a finalidade de desintoxicar ambientes degradados ou poluídos (Dinardi *et al.,* 2003).

As plantas do cerrado, apresentam potencial de serem indicadas como fitorremediadoras, uma vez que naturalmente se desenvolvem em ambientes com baixa fertilidade de solo e condições climáticas adversas. O Ministério do Meio Ambiente (MMA) aponta que no Estado do Maranhão encontra-se o Cerrado, o segundo maior bioma brasileiro, abrigando 11.627 espécies de plantas nativas já catalogadas, um inventário florístico revelou que das 914 espécies de árvores e arbustos registradas em 315 localidades de Cerrado, somente 300 espécies ocorrem em mais do que oito localidades, e 614 espécies foram encontradas em apenas uma localidade (Ratter *et al*., 2003). Localizadas em grande parte no solo Maranhense, uma dessas espécies encontradas é o ipê-roxo (*Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos)), capaz de reter contaminantes e ser utilizada na fitorremediação de áreas degradadas.

As plantas possuem uma enorme capacidade de absorver os poluentes do meio ambiente e realizar sua desintoxicação através de diversos mecanismos (Ali *et al*., 2013). Estudos apontam que o ipê-roxo é resistente a contaminação, sendo assim, é umas das plantas usadas em solos degradados, o uso do cádmio (Cd) promove a redução no teor de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) na raiz e os micronutrientes foliar não são afetados. Paiva *et. al* (2000) relata que a parte área do ipê-roxo é a mais sensível em relação a raiz da planta. Em ambientes contaminados as raízes das plantas fitoquelantes vão se expandir a uma maior área, para captura dos metais, esses fitoquelantes que fazem com que elas tolerem altos teores de Zn e Cd.

Dessa forma a fitorremediação envolvendo o emprego de plantas que apresentam a capacidade de absorção de elementos químicos e substâncias químicas consideradas tóxicas ao meio ambiente, removendo e imobilizando ou tornando os contaminantes inofensivos para o ecossistema, se apresenta como uma metodologia viável (Marques *et al*.,2011). Neste sentido, o presente trabalho objetivou analisar o comportamento fisiológico do ipê roxo (*Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos), na fitorremediação de solo contaminado por Mn (II), Zn (II) e Pb (II) em condições de casa de vegetação.

2 | METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido na Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão em casa de vegetação. Para a análise do solo foi utilizada a metodologia proposta pela Embrapa (2011), no Laboratório de Química. As mudas de o ipê roxo foram produzidas através de sementes cedidas pela UEMASUL, as quais foram transplantadas para os vasos definitivos quando obtiveram, aproximadamente, 20 cm de altura.

2.1 Coleta, preparo e tratamento das amostras do solo

As amostras de solos utilizados para os experimentos foram oriundas da área preservada próximo ao lixão de Imperatriz-MA, com coordenadas geográficas 5º 25' 34.2" S 47º 32' 26.4" W. A coleta foi realizada com pá e o material acondicionado em baldes previamente higienizados.

No laboratório de Química as amostras foram transferidas para bandeja plástica e seca ao ar livre. Após a secagem as amostras foram descompactadas e trituradas em gral de porcelana; em seguida, fracionadas utilizando-se peneiras de 2 mm. O material fracionado foi acondicionado em frasco de polietileno de cor escura e submetido à refrigeração até o momento das análises.

As amostras para determinação dos metais potencialmente tóxicos foram transferidas para cápsulas de porcelana e submetidas à secagem em estufa a 60° ± 1 C, por 24 horas. Em relação ao preparo do solo, foram adicionados 60mg de chumbo, cromo e zinco, para obtenção do solo dopado. O manganês já estava presente em alta quantidade no solo.

2.1.1 Determinação de pH em H_2O e KCl

Foram determinados potenciometricamente em suspensão, empregando 10,0 gramas de cada amostra e acrescentados 25 mL de água e solo: KCl 1 mol L^{-1} e solo (relação 1:2,5) e agitou-se por 40 min. Após a agitação a suspensão foi deixada em repouso por 1 h. Em seguida fez-se as medições do pH nas amostras. As análises foram feitas em triplicata.

2.1.2 Determinação da percentagem de matéria orgânica

Em cadinho de porcelana previamente calcinado a 550°C e aferido. As amostras secas e peneiradas a 0,35 mm foram submetidas à calcinação por 4 horas, em forno mufla a 550ºC. Decorrido o tempo de calcinação, o cadinho foi resfriado em um dessecador. A percentagem de matéria orgânica foi obtida por meio da diferença entre o peso inicial da amostra e o peso após a calcinação (EMBRAPA, 2011).

2.1.3 Determinação da capacidade de troca catiônica

A determinação da capacidade de troca catiônica foi realizada em cadinho de porcelana previamente calcinado a 550°C e aferido. As amostras secas e peneiradas a 0,35 mm foram submetidas à calcinação por 4 horas, em forno mufla a 550ºC. Decorrido o tempo de calcinação, o cadinho foi resfriado em um dessecador. A determinação da CTC das amostras foi feita de acordo com a equação abaixo:

$$CTC\ (cmol\ c\ kg\text{-}1) = [pH1\text{-}pH2] \times Kctc$$

Onde:

pH1= pH da suspensão contendo a amostra;

pH2 = pH da solução de ácido acético;

Kctc = Soma das cargas dos cátions presentes na CTC do solo.

2.2 Produção de mudas

As mudas de ipê roxo foram produzidas através de sementes, as quais foram submetidas a superação de dormência, colocando-as por 18 horas em temperatura ambiente, obteve melhores resultados através da imersão das sementes em água quente a 65ºC por 18 horas. Logo em seguida realizou o plantio em copo descartáveis, com 36 sementes uma em cada copo. O solo do copo descartável foi preparado com areia e terra preta, na proporção de 3/1.

2.3 Implantação do experimento em casa de vegetação

As mudas depois de 40 de dias (com aproximadamente 20 cm) foram transplantadas para o solo dopado e solo não dopado, sendo 18 mudas em solo dopado por metais potencialmente tóxicos, e 18 mudas com solo não contaminado. O solo foi contaminado com 60 gramas de chumbo e zinco, o manganês já estava presente no solo em altas concentrações. O experimento foi implantado em vasos plásticos de 3 kg, em delineamento inteiramente casualizado em fatorial 2 x 3, sendo 2 tratamentos (T1= solo dopado; T2= solo não dopado), 3 datas de avaliações, com seis repetições. Durante o plantio das espécies, os vasos foram irrigados, de modo a não ultrapassar o limite máximo de 70% da capacidade de campo deste solo.

Após o período de 30, 45 e 60 dias de transplantio das plantas, avaliou-se o índice de clorofila, número de folhas, altura, tamanho de raiz, massa fresca e seca da raiz, massa fresca e seca da parte aérea. As plantas cortadas foram lavadas, acondicionadas em sacos de papel e secas em estufas de ar com circulação forçada à temperatura entre 65 e 70°C até atingir o peso constante. Depois de secas, as partes da planta (parte aérea e sistema radicular) foram pesadas para a determinação da biomassa.

2.4 Leitura do Índice de Clorofilas nas Folhas da Ipê-roxo

Para a leitura do índice de clorofila (ID), foi utilizado o aparelho *Soil Plant Analysis Development* (SPAD - 502, Minolta, Japão). A metodologia consistiu em analisar e selecionar folhas mais velhas e com coloração esverdeada mais escura. Em cada folha efetuaram-se 3 leituras, em três pontos a cada lado da nervura central da folha, na face adaxial da folha.

Este procedimento se repetiu por três datas após a plantação das mudas, com 30 dias a primeira avaliação, 45 a segunda e a terceira aos 60 dias.

2.5 Altura da Planta, Tamanho de raiz e Número de Folhas

Para altura da planta e tamanho de raiz foi utilizada uma régua de 50cm e uma fita métrica de 1m de comprimento, a altura foi medida no próprio vaso a partir da superfície do caule ao ápice da planta, para a raiz as medidas foram a partir do colo até a coifa da raiz ambas, em três análises aos 30, 45 e 60 dias após o transplante das mudas. A contagem das folhas foi feita tanto para as folhas sadias como as que apresentavam necrose ou manchas. Os resultados obtidos foram anotados em um bloco.

2.6 Peso Fresco e Peso seco da Parte Aérea e raiz

Ao serem retiradas dos vasos as plantas foram lavadas e colocadas em sacos de papel previamente identificados, separando-se a parte área da raiz, e levadas ao laboratório para que fosse feita a pesagem em balança analítica. Para obter o peso seco da parte aérea e da raiz da planta, logo após serem pesadas ainda com características naturais, foram levadas ao laboratório de química ambiental da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão e colocadas em uma estufa a 50°C por aproximadamente 24 horas.

2.7 Análise de dados

Os dados obtidos dos parâmetros avaliados, foram submetidos à análise de variância com o uso do programa SISVAR, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade (Ferreira, 2003).

3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização físico-química do solo preservado

Os valores de pH variaram de 5,3 (A.P1) à 5,2 (A.P2), os solos com valores de pH em água entre 3,5 a 5,0 os solos são considerados muito ácido, valores entre 5,0 a 6,5 confere ao solo um caráter ácido, valores entre 6,5 e 7,5 são classificados como neutros, entre 7,5 e 8,7 recebem a classificação de alcalinos e superior a 8,7 são considerados muito alcalinos, caracterizando os solos como ácidos, tendo média 5,3 para A.P1 e 5,2 para A.P2 (Tabela 1). A maior acidez ativa (pHH2O) pode ser decorrente do processo de decomposição e de mineralização da M.O levando à produção de substâncias orgânicas de caráter ácido, reduzindo assim, o pH do solo.

Os valores de pH em KCl variaram de 4,3 (A.P 1) à 4,9 (A.C 2) (Tabela 1), na relação do ΔpH, o pHKCl ficou inferior ao pHH_2O, tendo domínios de cargas negativas, o que pode ser atribuído a fato de que pH quando medido em água possa estar mais relacionado a acidez total, devido os prótons e as formas de alumínio fixadas ao complexo de troca, que

contribuem também para a acidez. Geralmente a acidez permutável resultante de prótons fixos em complexos de troca iônica é suscetível de se deslocarem após a troca de sais neutros (solução KCl).

A matéria orgânica (M.O) e o pH do solo apresenta cargas de superfície que contribuem para o aumento ou diminuição da C.T.C do solo, a M.O fornece cargas negativas para o solo que permitem reter cátions e consequentemente maior será o seu poder tampão que é acarretado por este aumento de material coloidal, nos pontos de estudo a influência da matéria orgânica foi significativa quanto maior a percentagem de M.O. maior o valor de C.T.C. Onde 2,5 cmol.dm^3 são considerados baixos, e entre 2,5 – 6,0 cmol.dm^3 são avaliados como médios, e valores superiores a 6,0 cmol.dm^3 são considerados altos, as áreas A.P1 e A.P2 foram definidas com baixo CTC, com médias de 0,66; 0,21; 1,02 cmol. dm^3 respectivamente (Tabela 1). A baixa capacidade de adsorção de cátions das áreas pode aumentar a mobilidade dos metais na fase líquida do solo.

A matéria orgânica é originada de substâncias mortas no solo que provém de resíduos animais e vegetais em diversos estágios de decomposição. Representa importante papel no solo, melhorando suas condições físicas e químicas e adicionando-lhe importantes propriedades físico-químicas, como por exemplo, a capacidade de troca de cátions e pH (EMBRAPA, 2011). Os valores de matéria orgânica (M.O) acima de 10%, indicam predominância de compostos orgânicos, e abaixo de 10%, de compostos inorgânicos ou minerais.

Os teores de matéria orgânica das áreas estudadas determinam o domínio de compostos inorgânicos, tendo maior valor médio de porcentagem na área preservada 1 com 6,08 e maior na área preservada 2 com 8,45% (Tabela 1).

	pHH_2O	pHKCl	ΔpH	C T C	M O (%)
A.P 1	5,2	4,3	-1	0,21	6,08
A.P 2	5,3	4,4	-0,8	1,02	8,45

Tabela 1. Valores médios dos parâmetros físico-químicos do solo próximo ao lixão do munícipio de Imperatriz-MA na área preservada.

Fonte: Autores (2019).

3.2 Avaliação do comportamento fisiológico do ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosus (*Mart. Ex DC.) Standl) cultivado em solo contaminado por micronutrientes, o chumbo, manganês e o zinco e em e solo preservado

De acordo com os resultados, não houve interação significativa entre os fatores solo dopado e não dopado e períodos de avaliação (30,45 e 60) da planta de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosus (*Mart. Ex DC.) Standl) quanto às variáveis analisadas: teor de clorofila, número de folhas, tamanho da raiz, altura de planta, massa fresca e seca da raiz

e massa fresca e seca da parte aérea. Passando-se a estudar os fatores isolados.

Em relação ao índice de clorofila, número de folhas e o tamanho da raiz, não houve diferença estatística significativa ao nível de 5 % de significância pelo teste Tukey, observou-se que as plantas de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosus (*Mart. Ex DC.) Standl), apresentaram o mesmo comportamento tanto em solo dopado quanto em solo não dopado, apresentando potencial para ser utilizada como ferramenta na fitorremediação de solos com alta concentração de Mn (Manganês), Pb (Chumbo) e Zn (Zinco) (Tabela 2).

Tratamento	Teor de clorofila			Número de folhas			Tamanho da raiz		
	30 dias	45 dias	60 dias	30 dias	45 dias	60 dias	30 dias	45 dias	60 dias
Solo dopado	33.56 a	33.53 a	37.10 a	3,33 a	3,57 a	4,39 a	4.73a	4.14 a	2.34 a
Solo não dopado	33.00 a	29.40 a	33.11 a	3,43 a	3,06 a	3,96 a	5.35a	3.04 a	2.00 a
CV (%)	19.68	20.82	13.55	15,23	14,21	21,33	13.82	28.69	20.96
P	0.8836	0.2979	0.1750	0,7331	0,0895	0,4901	0.1501	0.0948	0.2221

* Média seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 2. Análise do teor de clorofila, número de folhas e o tamanho da raiz no ipê-roxo (*Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos) cultivado em solo dopado e solo não dopado.

Fonte: Autores (2019).

O comportamento da planta de ipê-roxo (*Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos)) em solo dopado ser semelhante em solo preservado, se justifica pelo fato de a mesma ter absorvido e utilizado os micronutrientes de forma benéfica, pois o zinco está inteiramente ligado ao crescimento e desenvolvimento da planta e estão correlacionados com carboidratos, proteínas, as auxinas e o comprometimento e integridade das membranas. Ainda está envolvido com o nível de fotossíntese da planta. Duas enzimas são afetadas pela deficiência do zinco presentes cloroplastos e no citoplasma. A frutose 1, 6 difosfato quebrando o açúcar C6, nos cloroplastos e no citoplasma, e a aldolase transfere fotossintatos C3 do cloroplasto para o citoplasma. Por outro lado, a planta em solo não dopado, não apresentou sintomas de deficiência, pois o ácido indolacético (AIA), influência nos sintomas de deficiência de Zn inibe a elongação e do internoides e redução do tamanho da folha.

A deficiência de zinco resulta no nível baixo de carboidrato e da fotossíntese propiciando maior produção de radicais de O_2 os quais levam a sintomas mais fortes de deficiência de Zn sob alta intensidade luminosa. O zinco age no controle do O_2, com a deficiência desse micronutriente o O_2 aumenta causando destruição das ligações duplas do ácido graxos e dos fosfolípides das membranas levando a perda de açúcares, aminoácidos e potássio (K). Fato não observado nas plantas de ipê-roxo (*Handroanthus impetiginosus*

(Mart. ex DC.) Mattos.

Em relação ao manganês, as plantas de ipê-roxo (*Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos), também não apresentaram sintomas de intoxicação em solo dopado e nem de deficiência em solo não dopado. Estudo feito com o manganês indica que o mesmo participa no processo de transporte de elétrons na fotossíntese e na desintoxicação de radicais livres do oxigênio. O Mn é uma metaproteina, um componente integrante de duas enzimas, a enzima que quebra a molécula da água na fotossíntese ll é a superóxido dismatose que contém Mn que também ativa várias outras enzimas. Em plantas verdes o Mn quebra a molécula de água e do sistema de evolução de O_2 na fotossíntese que ocorre nos cloroplastos. Até mesmo leves deficiências de Mn afetam a fotossíntese, e diminui o nível de carboidratos solúveis em plantas. Esse nutriente realiza a evolução da fotossintética do oxigênio. O mesmo é fundamental nos fatores quando ocorre a deficiência deste micronutriente, a reação da luz durante o processo de fotossíntese é seriamente prejudicada em estudos realizados com semente de milho a deficiência em Mn pode ocasionar a diminuição da germinação na semente. Sendo o cloroplasto sensível com déficit de manganês, essa deficiência pode trazer necrose internerval na folha (Shamar *et al*., 1991).

Quanto à altura das plantas de ipê-roxo, verificou-se que aos 30 e 45 dias, não ocorreu diferença estatística significativa ao nível de 5% pelo teste Tukey, em que tanto em solo dopado como em solo não dopado, essa espécie apresentou altura semelhante (Tabela 3). No entanto, aos 45 dias o ipê-roxo (*Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos) em solo dopado com os micronutrientes, alcançou maior altura, maior massa fresca da raiz e maior massa fresca e seca da parte aérea apresentando diferença estatística significativa ao nível de 5% pelo teste Tukey (Tabela 3). Pois, o zinco é micronutriente essencial, sendo um componente estrutural de muitas proteínas, indispensável para o crescimento da planta. A deficiência da planta em zinco pode causar retardo e redução do crescimento na planta. A deficiência de zinco pode levar a planta a um crescimento atrofiado via oxidação de ácido indolacético (AIA), o que não se observou no presente trabalho. Contudo, a massa seca da raiz de ipê-roxo, foi estatisticamente igual nas três datas de avaliação, e a massa fresca e seca da parte aérea foi estatisticamente igual aos 30 e 60 dias (Tabela 4e 5).

Tratamento	**Altura da planta**		
	30 dias	45 dias	60 dias
Solo dopado	12,33 a	14,66 a	33,08 a
Solo não dopado	14,75 a	10,25 b	23,80 a
CV (%)	29,56	26,04	26,89
P	0.3203	0.0401	0.0618

*Médias na coluna seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, Coeficiente de variação em porcentagem, **CV** (%), Probabilidade de significância entre os valores(**P**).

Tabela 3. Análise da altura da planta no ipê-roxo (*Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos) cultivado em solo dopado e solo não dopado.

Fonte: Autores (2019).

Tratamento	Massa fresca da raiz			Massa seca da raiz		
	30 dias	45 dias	60 dias	30 dias	45 dias	60 dias
Solo dopado	1,74 a	1,98 a	2,34 a	1.99 a	1.22 a	1.45 a
Solo não dopado	1,60 a	1,48 b	2,00 a	1.15 a	1.19 a	1.35 a
CV (%)	10,49	14,80	20,96	6.89	8.39	13.80
P	0,1855	0,006	0,2221	0.4855	0.6485	0.3831

*Médias na coluna seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, Coeficiente de variação em porcentagem, **CV** (%), Probabilidade de significância entre os valores(***P***).

Tabela 4. Análise do Massa fresca e seca da raiz no ipê-roxo (*Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos).)

Fonte: Autores (2019).

Tratamento	Massa fresca da raiz			Massa seca da raiz		
	30 dias	45 dias	60 dias	30 dias	45 dias	60 dias
Solo dopado	2,071 a	2,60 a	3,14 a	0.68 a	1,55 a	1,89 a
Solo não dopado	2,077 a	1,72 b	2,48 a	0.90 a	1,09 b	1,61 a
CV (%)	17,92	16,15	27,29	9.93	9,30	17,62
P	0,9767	0,0014	0,1697	0,2985	0,0001	0,1526

*Médias na coluna seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, Coeficiente de variação em porcentagem, **CV** (%), Probabilidade de significância entre os valores(***P***).

Tabela 5. Análise do Massa fresca e seca da parte aérea no ipê-roxo (*Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos) cultivado em solo potencialmente tóxico e não tóxico.

Fonte: Autores (2019).

Observa-se mais uma vez comportamento de crescimento semelhante do ipê-roxo, em solo dopado e não dopado, reforçando o potencial dessa espécie para uso na fitorremediação. Em relação a essas informações, o solo dopado por Zinco influencia no aumento da parte aérea.

Carneiro *et al.* (2002) e Li *et al.* (2011) relata que a toxicidade do Zn em plantas acarreta a diminuição tanto da produção de matéria seca da parte aérea, quanto da biomassa radicular; necrose da radícula e inibição do crescimento vegetal. A redução de massa seca da raiz pode ser atribuída a redução da respiração neste órgão causado pelo excesso de chumbo na planta (Merwe et al., 2009), estes autores estudaram os efeitos do chumbo em tomate, verificando redução da massa seca de folhas e raízes pelo aumento das concentrações de chumbo. Resultados de Lima et al. (2013), revelaram que o cultivo em solo contendo até 180 mg kg^{-1} de Pb reduziu a produção de biomassa das partes das plantas de cenoura e quiabeiro, mas não afetou a da couve manteiga. A redução no crescimento radicular pode afetar o crescimento de toda a planta por restringir a absorção de água e nutrientes (Pereira et al., 2013). No entanto, esse comportamento não foi observado nas plantas de ipê-roxo nas condições em que foi conduzido o experimento

AGRADECIMENTO

À Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão UEMASUL.

REFERÊNCIAS

ALI, H.; KHAN, E.; SAJAD, M. A**.** Phytoremediation of heavy metals – Concepts and applications. **Chemosphere**, v. 91, p. 869-881, 2013.

CARNEIRO, M.A.C.; SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S. **Comportamento de espécies herbáceas em misturas de solo com diferentes graus de contaminação com metais pesados**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.37, p.1629-1638, 2002.

DINARDI, A. L. et al. Fitorremediação. In: **Anais...** III fórum de estudos contábeis, Resumos. Campinas: CESET-Unicamp, 2003.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 3° ed. rev. ampl. Brasilia: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. 627 p.

FERREIRA, D.F. SISVAR 4.6. **Sistema de análises estatísticas**. Lavras: UFLA, 2003.

LIMA, F.S.; NASCIMENTO, C.W.A.; ACCIOLY, A.M.A; SOUSA, C. SILVA; FILHO, F.F.C. Bioconcentração de chumbo e micronutrientes em hortaliças cultivadas em solo contaminado. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, n.2, p.234-241, 2013.

MARQUES, M. et al. Desafios técnicos e barreiras sociais, econômicas e regulatórias na fitorremediação de solos contaminados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1-11, 2011.

MERWE, M.J.V.D.; OSORIO, S.; MORITZ, T.; NESI-NUNES, A.; FERNIE, A.R. Decreased mitochondrial activities of malate dehydrogenase and fumarase in tomato lead to altered root growth and architecture via diverse mechanisms. **Plant Physiology**, v.149, n.2, p.653-669, 2009.

PAIVA, H.P.; CARVALHO, J.G.; SIQUEIRA, J.O. Efeito de Cd, Ni, Pb e Zn sobre mudas de cedro (*Cedrela fissilis*Vell.) e ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standley) em solução nutritiva. **Revista Árvore**, v. 24, p.369-378, 2000.

PEREIRA, B.F.F. **Potencial fitorremediadora das culturas de feijão de porco, girassol e milho cultivadas em latossolo vermelho contaminado com chumbo.** Dissertação (Mestrado) – Instituto de Agronegócio, Campinas,2005.

RATTER, J.; BRIDGEWATER, S.; RIBEIRO, J.F. Analysis of the floristic composition of the Brazilian Cerrado vegetation. III: comparison of the woody vegetation of 376 areas. **Edinburgh Journal of Botany**, v.60, p.57-109, 2003.

SHARMA, C. P.; SHARMA, P. N.; CHATTERJEE, C.; AGARWALA, S. C. Manganese deficiency in maize affects pollen. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 138, p. 139-142, 1991.

CAPÍTULO 14

PROMOÇÃO DO CRESCIMENTO DE CLONES DE EUCALIPTO INOCULADOS COM ISOLADOS DE *TRICHODERMA* SPP. DO ECÓTONO AMAZÔNIA-CERRADO

Data de aceite: 01/09/2023

Paula de Kássia Sobreira Silva
UniversidadeEstadual da Região Tocantina do Maranhão, Imperatriz (MA), Brasil,
https://orcid.org/0009-0001-7317-2706

Antonio Igor Rios de Sousa
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, Imperatriz (MA), Brasil.
https://orcid.org/0000-0002-5354-7814

Ivaneide de Oliveira Nascimento
Docente da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão Imperatriz (MA), Brasil.
https://orcid.org/0000-0001-7095-7092

Thatyane Pereira de Sousa
Docente da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão Imperatriz (MA), Brasil.
https://orcid.org/0009-0009-1263-0388

Niara Moura Porto
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
Imperatriz – MA
https://orcid.org/0000-0003-3704-7294

RESUMO: O *Eucalyptus* spp. é um gênero arbóreo de uso industrial mais plantado no Brasil, pois a madeira possui elevado valor comercial e no setor florestal vem sendo desenvolvidos importantes estudos e metodologias para garantir um ótimo desempenho das mudas na fase de viveiro até o campo. O uso de microrganismos benéficos representa importante ferramenta biotecnológica para a melhoria da qualidade de mudas em viveiros comerciais. Dessa forma, objetivo do trabalho foi avaliar promoção do crescimento de clones de eucalipto inoculados com isolados de *Trichoderma* spp. O experimento será conduzido no viveiro, localizado no Centro de Ciências Agrárias-CCA/UEMASUL, em Imperatriz- MA. O delineamento foi inteiramente casualizado com seis tratamentos e 6 repetições, totalizando 36 unidades experimentais. Aos 15 e 30 dias após transplantio foram avaliados os parametros: Altura, diâmetro, índice de clorofila e massa seca total e índice de qualidade de Robustez, todos os dados coletados foram analisados pelo teste de Tukey a 5% de significância, a fim de verificar o melhor isolado de *Trichoderma* spp. para promoção do crescimento de clones de eucalipto. O tratamento (T3) proporcionou mudas com baixo índice de

qualidade em relação aos demais tratamentos. A inoculação de *Trichoderma* nos tratamentos T5 e T6 apresentaram os melhores resultados no índice de robustez comparados ao restante dos tratamentos. estes resultados podem servir como base para novas pesquisas à nível bioquímico, fisiológico e molecular utilizando estes isolados para desenvolvimentos de novas tecnologias sustentáveis que auxiliem na produção de mudas de eucalipto da região.
PALAVRAS-CHAVE: *Eucalyptus* spp., *Trichoderma* spp.*,* Mudas florestais.

GROWTH PROMOTION OF EUCALYPTUS CLONES INOCULATED WITH ISOLATES OF *TRICHODERMA* SPP. FROM THE AMAZON-CERRADO ECOTONE

ABSTRACT: The *Eucalyptus* spp. is a tree genus of industrial use most planted in Brazil, as the wood has a high commercial value and in the forest sector, important studies and methodologies have been developed to guarantee an excellent performance of the seedlings in the nursery phase until the field. The use of beneficial microorganisms represents an important biotechnological tool for improving the quality of seedlings in commercial nurseries. Thus, the objective of this study was to evaluate the growth promotion of eucalyptus clones inoculated with *Trichoderma* spp. The experiment will be conducted in the nursery, located at the Center for Agricultural Sciences-CCA/UEMASUL, in Imperatriz-MA. The design was completely randomized with six treatments and 6 replications, totaling 36 experimental units. At 15 and 30 days after transplanting, the following parameters were evaluated: Height, diameter, chlorophyll index and total dry mass and Robustness quality index. The treatment (T3) provided seedlings with a low quality index in relation to the other treatments. The inoculation of Trichoderma in the T5 and T6 treatments showed the best results in the robustness index compared to the rest of the treatments. these results can serve as a basis for further research at the biochemical, physiological and molecular level using these isolates for the development of new sustainable technologies that assist in the production of eucalyptus seedlings in the region.
KEYWORDS: *Eucalyptus* spp., *Trichoderma* spp., Forest seedlings.

1 | INTRODUÇÃO

O gênero *Trichoderma* spp. pertence a Família Hypocreaceae, a divisão Ascomycota, a ordem Hypocreales, a Classe Sordariomycetes, e ao Reino Fungi (Menezes, 1993). É identificado por um micélio septado, conídios na grande maioria ovais, conidióforo hialino não verticilado filoides singulares ou agrupados e conídios unicelulares. Em visão macroscópico, as colônias são prontamente identificadas por sua distinção branco-verde ou amarelo-verde. É um agente biológico, utilizado como promotor de crescimento e indutor de resistência em plantas, portando, um microrganismo pertencente em média de 38% dos produtos biológicos destinados ao controle de doenças de plantas, ressaltando seu potencial no uso desse microrganismo para favorecer diferentes culturas florestais (De Impresa, 2022).

Na área florestal, *Trichoderma* spp. atua na promoção do crescimento de plantas

e auxilia no controle de doenças de plantas no campo, empregado no pré-tratamento, com alvo nos danos: podridão radicular, murcha em pé, murcha foliar, rizoma amarelo, tombamento, mofo foliar, entre outras doenças foliares. Para desenvolvimento de florestas, são necessários vários fatores, sendo um deles, de suma relevância a qualidade das mudas utilizadas durante o plantio. Destacando que as mudas, devem apresentar: rigorosidade, resistentes ao estresse do transplante e livre de pragas e doenças, além de garantia de boa adaptação e crescimento após o plantio (Cruz *et al.,* 2004).

O desenvolvimento de mudas de boa qualidade exige estudos avançados desde o substrato que fornece os nutrientes necessários à planta, até o momento do plantio no campo. Tendo em vista que são fungos simbiontes endofíticos de plantas amplamente utilizados no pré-tratamento de controle de doenças e promover o crescimento e eficiência das plantas (Mastouri *et al*., 2010). Em virtude à importância da produção de mudas de espécies florestais, o trabalho tem como objetivo avaliar promoção do crescimento em clones de eucalipto inoculados com *Trichoderma* spp

2 | METODOLOGIA

2.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi realizado no viveiro, localizado no Centro Ciências Agrárias CCA/ UEMASUL, em Imperatriz- MA, entre as coordenadas geográficas 5º 31' 32' latitude sul; 47º 26' 35' longitude a oeste, de acordo Meridiano de Greenwich (Figura 1) com altitude média de 92 metros acima do nível do mar.

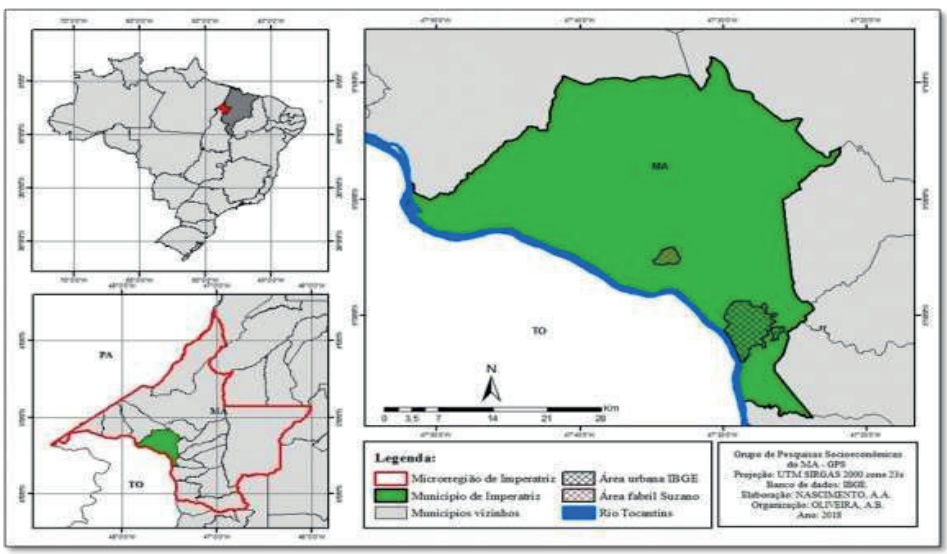


Figura 1. Localização da área experimental, onde está localizado o viveiro florestal, localizada no município de Imperatriz Maranhão, Brasil.

Fonte: Autores (2022).

2.2 Isolados de *Trichoderma* spp. e Clones de eucalipto

No desenvolvimento do trabalho foram utilizados os 5 isolados de *Trichoderma* spp. (T2, T3, T4, T5 e T6) obtidos na região do Ecótono Amazônia-cerrado e utilizado os clones de eucalipto fornecidos pelo viveiro da viena siderúrgica - Açailandia (MA). Os clones são de origem de cruzamento entre *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden X *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake, denomindando híbrido *Eucalyptus Urograndis.*

Os isolados de *Trichoderma* spp foram aplicados via rega no solo de acordo com Silva et al. (2012), utilizando-se suspensão de conídios, a apartir da cultura do fungo cultivada em meio de cultura BDA à ± 25 °C, sob luz constante durante cinco dias e a concentração do padrão ajustada 1 $\times 10^8 mL^{-1}$. A inoculação foi realizada aos 15 e 30 dias após transplate e irrigadas 1 vez ao dia com água potável, acrescentado-se um volume de água correspondente a 30% do peso do solo por irrigação. Para realização de experimento foi utilizado substrato padrão comercial composto: terra preta, esterco de aves, cinza carbonizada, calcário, carvão vegetal para produção de mudas de clones de eucalipto.

2.3 Delineamento experimental e tratamento

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com seis tratamentos e 6 repetições, totalizando 36 unidades experimentais. As unidades experimentais constam de tubetes plásticos (90 cm^3), os mesmos foram dispostos em grades no interior de casa de vegetação e submetidos aos tratamentos correspondentes. Os tratamentos utilizados foram: T1) Controle (água), 2) T2: Isolado 1, 3) T3: Isolado 2, 4) T4: Isolado 3, 5)T5: Isolado 4, 6)T6: Isolado T5, todos os tratamentos receberão 1 rega no solo com 100 ml de suspensão aos 15 e 30 dias após o transplantio dos clones, com exceção do tratamento controle que foi regado apenas com água.

2.4 Parâmetros avaliados

Foram avaliados os seguintes parâmetros morfológicos: altura de planta em centímetros (H), determinada com régua graduada a 5 cm da superfície do solo até a última folha, diâmetro de colo (DC) em mm, determinado com uso do paquímetro digital e índice de clorofila com SPAD - (*Soil Plant Analysis Development*), aos 15 e 30 dias após plantio.

Após 30 dias foi realizada a análise destrutiva das mudas para a obtenção da biomassa. O material vegetal foi lavado, acondicionados em sacos de papel e levados à estufa de circulação forçada de ar a 65ºC até peso constante. Após a secagem, o material vegetal foi pesado em balança analítica para a obtenção de matéria seca total (MST). Foi calculado o índice de robustez (H/DC) (DICKSON et al., 1960), definido pela seguinte fórmula matemática:

$$IR = \frac{H}{DC}$$

2.5 Análise de Dados

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), com auxílio de programa estatístico SPSS. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey 5% de probabilidade.

3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na primeira avaliação realizada aos 15 dias da aplicação de *Trichoderma* spp, observou- se que os tratamentos não apresentaram diferenças significativas para altura (H) na avaliação após 15 dias de inoculação do controle (T1), entretanto o tratamento T3 (39,33), apresentou maior média, diferindo significativamente do menor tratamento T6 (34,83).

Para o diâmetro do colo (DC) aos 15 dias *Trichoderma*, o tratamento T3 (4,30) diferiu-se significativamente do tratamento controle (3,22), apresentando incremento de 33,54%. Entretanto, para o índice de clorofila (IC), todos os tratamentos diferiram significativamente do controle. O tratamento T3 apresentou maior média, um aumento correspondente a 37,97% em relação ao tratamento controle. (Tabela 1).

TRATAMENTO	H (cm)	DC (mm)	IC (mg g^{-1})
T1 (Controle)	36,42 b	3,22 c	37,13 c
T2	38,67 ab	4 a b	42,15 bc
T3	39,33 a	4,3 a	51,23 a
T4	37,92 ab	3,63 abc	41,33 bc
T5	38,83 a	3,72 abc	38,55 bc
T6	34,83 b	3,61 bc	44,81 ab

Tabela 1. Médias de Altura (H) em cm, Diâmetro de colo (DC) em mm e Índice de Clorofila (IC) em mg g^{-1}, em mudas de eucalipto, após 15 dias de aplicação dos inoculados com *Trichoderma* em viveiro florestal, Imperatriz- MA.

Fonte: Autores (2022).

Observou-se que após os 30 dias de inoculação com *Trichoderma* spp., os tratamentos apresentaram diferenças significativas para altura (H), diametro de colo (DC) e índice de clorofila (IC). Para altura aos 30 dias o tratamento T3 diferiu significativamente apresentando média 41,33 cm, correspondendo à 13,38% em relação ao tratamento controle (T1). Para o diâmetro de colo o tratamento T3 (4,66), deferiu-se significativamente em relação à média do controle (3,57), correspondendo à 30,53%.

Para o Índice de Clorofila (IC), assim como para os 15 dias, o T3, apresentou maior média, diferindo significativamente do controle. Na avaliação aos 30 dias o T1 (controle), em comparação ao restante dos tratamentos inculados, foi o único que apresentou diminuição

no índice de clorofila (15 dias 37,13 > 30 dias 31,25). O Tratamento T3 notabilizou-se dos demais tratamentos com médias: H(cm) 41,33 DC (cm) 4,66 e IC (mg g -¹) 51,32. Nessa avaliação de 30 dias, evidenciou que teve diferença significativa nas inoculações analisadas, em comparação aos paramêtros de 15 dias de inoculação.

TRATAMENTO	H (cm)	DC (mm)	IC (mg g^{-1})
T1 (Controle)	36,45 b	3,57 b	31,25 d
T2	39,50 ab	4,02 ab	42,27 b c
T3	41,33 a	4,66 a	51,32 a
T4	38,50 ab	3,99 ab	41,85 bc
T5	41,17 ab	4,13 ab	39,03 c
T6	37,67 ab	4,10 ab	46,27 ab

* Médias seguidas de mesma letra minúscula, nas colunas, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância. *

Tabela 2. Médias de Altura (H) em cm, Diâmetro de colo (DC) em mm e Índice de Clorofila (IC) em mg g^{-1}, em mudas de eucalipto, após 30 dias de aplicação dos inoculados com *Trichoderma* em viveiro florestal, Imperatriz- MA.

Fonte: Autores (2022).

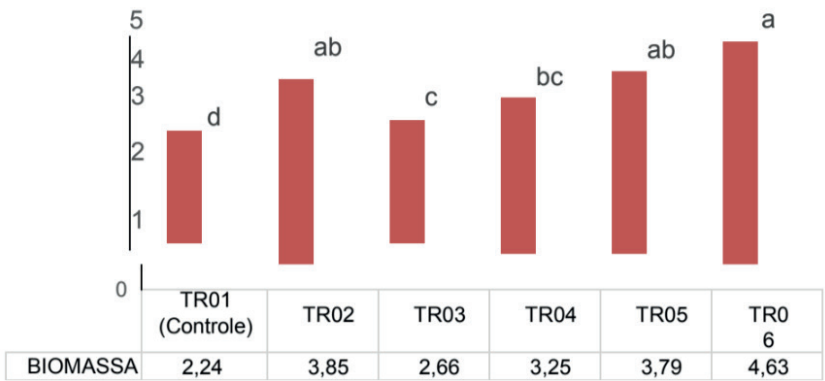


Figura 2. Médias de biomassa (g), de mudas de eucalipto, após 30 dias de aplicação dos inoculados com *Trichoderma* em viveiro florestal, Imperatriz-MA.

Fonte: Autores (2022).

A avaliação de biomassa mostrou que todos os tratamentos diferiram significativamente do tratamento controle. O tratamento T6 (4,63), apresentou diferença significativa do tratamento controle (2,24) (Figura 2). Os resultados observados indicam que a inoculação de *Trichoderma* spp promoveram maior formação de pecíolo, folhas e caule, componentes de massa seca e desenvolvimento radicular, devido à colonizarem a superfície externa das raízes estabelecendo deste modo uma relação mutualística com o

vegetal.

Portanto, em contato com as raízes leva a ativação de genes responsaveis pela produção fitormônios (auxinas e giberilinas) que atuam no alongamento e expansão celular, promovendo o crescimento de raízes e caules (Taiz; Zeiger, 2009) ou seja, este fato pode explicar os maiores valores dos parâmetros analisados neste trabalho (Tabela 2) e de sistema radicular quando as mudas de eucalipto foram inoculadas com isolados de *Trichoderma* spp. A massa seca da raiz anucia a sobrevivência e o crescimento inicial de mudas no plantio em campo, quanto maior o grau de abundância do sistema radicular, maior a probabilidade de sobrevivência (Gomes; Paiva, 2006). A harmonia entre a massa seca da parte aérea e a massa seca da raiz possibilita um desenvolvimento adequado das mudas, diminuindo os riscos de queda das plantas no campo (Dionisio *et al.,* 2021).

A biomassa é um indício da rusticidade de mudas de espécies florestais, ou seja, os maiores valores representam mudas mais lignificadas, o que reflete maior resiliência em ambientes com condições edafoclimáticas adversas (Gomes; Paiva, 2006; Reyes *et al*., 2014). A lignificação dos tecidos está associada ao desempenho e sobrevivência das mudas no campo (Dranski; Malavasi; Malavasi, 2015). O tratamento de mudas de eucalipto com *Trichoderma* apresentam melhor desenvolvimento quanto aos parametros avaliados. (Figura 3). Para Anevan (2009), as características morfológicas de crescimento de mudas de eucalipto, na fase de viveiro, são influenciadas pela disponibilidade de nutrientes e inoculação com microcom microrganismos benéficos.



Figura 3. Mudas de eucalipto com 30 dias após o plantio, em parte área e raiz.

*Mudas de eucalipto na sequência do tratamento: T1, T2, T3, T4, T5 E T6. (esquerda para direita).

Fonte: Autor (2022).

A produção de massa seca da planta é indicativa da intensidade de crescimento, que está correlacionada à nutrição mineral e características físicas (Silva *et al*., 2012). Portanto, essa afirmação está de acordo com os resultados obtidos neste estudo, pois os tratamentos que proporcionaram maior MST foram aqueles inoculados com *Trichoderma* spp, sendo os mais próximos aos considerados adequados por Bunt (1973), segundo autor refere-se a cultivos em recipientes plásticos, não havendo, portanto, maiores inconvenientes para a utilização destes substratos padrão comercial para produção de mudas florestais.

Todos os tratamentos proporcionaram crescimento em diâmetro superior a 4 mm (Figura 3), sendo a medida utilizada pelos viveiristas para qualificar as mudas florestais para o plantio no campo. A altura é um dos parâmetros adotados para a seleção e classificação das plantas. Portanto, essa variável isolada pode não representar um bom indicador de qualidade, pois uma muda alta com diâmetro de caule reduzido pode tombar facilmente após o plantio (Lucon, 2009).

O tratamento com inoculação de *Trichoderma* spp influenciou o diâmetro do colo das mudas de eucalipto, nos 30 dias em condições de viveiro (Tabela 2). Todos os tratamentos proporcionaram crescimento em diâmetro superior a 3 mm, o maior incremento correspondeu ao T3 com 4,66 mm. Segundo Scremin-Dias et al., 2006 recomenda-se que uma mudas classificada de boa qualidade tenha diâmetro de colo entre 3 e 10 mm.

Em relação ao índice de robustez, observou-se que os tratamentos apresentaram mudas robustas, já que os resultados variaram de 9,57 a 9,97 (Figura 4). O valor considerado ideal deve ser menor que dez, para se considerarem mudas com adequado padrão de qualidade (Birchler et al., 1998). A relação altura/diâmetro do colo além de ser um indicativo do padrão de qualidade das mudas, é o mais indicador para determinar a capacidade de sobrevivência no campo (Birchler *et al.,* 1998). Todos os tratamentos foram capazes de produzir mudas com viabilidade para o plantio no campo.

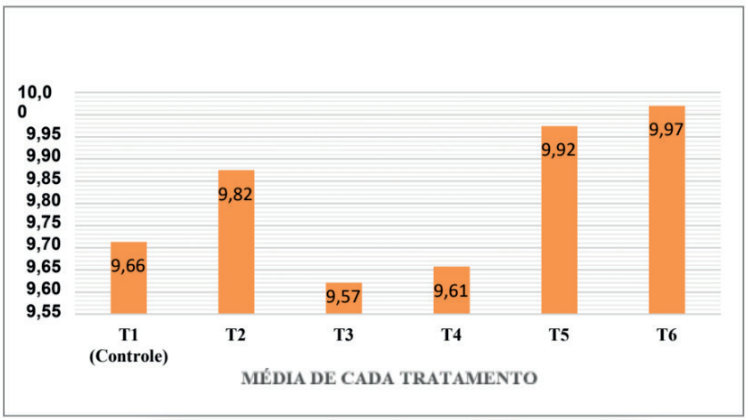


Figura 4 – Médias de Índice de robustez das mudas de eucalipto aos 30 dias após o plantio e inoculação de *Trichoderma,* calculado para o indicativo do padrão de qualidade das mudas.

Fonte: Autores (2022).

O índice de robustez, assim como o índice de Dickson, é considerado como indicador de qualidade de mudas. No IR, o desenvolvimento das mudas e a distribuição da biomassa são levados em consideração (Lima Filho *et al*., 2019). Muitos autores consideram o IR como um dos principais indicadores do padrão de qualidade das mudas. (Dickson, 1960; Binotto; Lúcio; Lopes, 2010).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As mudas de eucalipto obtidas nesse estudo, o tratamento T3 em inoculação de *Trichoderma* spp apresentou os melhores padrões de qualidade dentro dos parâmetros avaliados e o T6 apresentou o melhor índice de robustez. É importante ressaltar que mais pesquisas precisam ser desenvolvidas com os mesmos isolados de Trichoderma spp. para identificar o melhor agente multifuncional para além de promoção do crescimento, atuar como agente de controle biológico.

REFERÊNCIAS

ALMANÇA, M.A.K. ***Trichoderma* sp.no controle de doenças e na promoção do crescimento de plantas de arroz**. Dissertação de mestrado. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005. 81 p.

ANEVAN, C. **Produção de mudas de eucalipto em diferentes substratos.** FAG - Faculdade Assis Gurgacz, Cascavel – PR, 2009.

BIRCHLER, R. et al. La planta ideal: revision del concepto, parametros definitorios e implementaction practica. **Investigacion Agraria**, Sistemas y Recursos Forestales, v.7, n. 1, 109- 121 p., 1998

BUNT, A.C. Algumas características físicas e químicas de substratos de plantas em vaso sem loma e sua relação com o crescimento das plantas. **Acta Horticulturae**, v. 37, n. 1, p. 1954-1965, 1973.

CRUZ, C. A. F.; PAIVA, H. N.; GOMES, K. C. O.; GUERRERO, C. R. A. Efeito de diferentes níveis de saturação por bases no desenvolvimento e qualidade de mudas de ipê. **Scientia Forestalis,** n. 66, p.100-107, 2004.

DE IMPRENSA, A. **Trichoderma harzianum: conheça este microrganismo e seus benefícios para a agricultura**.2022. Disponível em: <https://jcagricultura.com.br/trichoderma-harzianum- conheca-este-microrganismo-e-seus-beneficios-para-a-agricultura/>. Acesso em: 6 out. 2022.

DICKSON, Alexandre et al. Quality appraisal of white spruce and White pine seedling stock in nurseries. **Forest Chronicle**, v.36, p.10-13, 1960.

DRANSKI, J. A. L.; MALAVASI, U. C.; MALAVASI, M. M. Relationship between lignin content and quality of Pinus taeda seedlings. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 39, p. 905-913, 2015.

GAUCH, Fritz. **Micoparasitismo de espécies de Pythium com oogônio equinulado e o controle de Pythium ultimum Trow causador de tombamento de mudas, em hortaliças**. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade de Brasília, Brasília,1996. 94 p.

GOMES J.M., PAIVA H.N. **Viveiros florestais: propagação sexuada**. Viçosa: UFV, 2006.

LIMA FILHO, Pedro et al. Produção de mudas de Ceiba speciosa em diferentes volumes de tubetes utilizando o biossólido como substrato. **Ciência Florestal**, v. 29, p. 27-39, 2019.

LUCON, C.M.M. **Promoção de crescimento de plantas com o uso de Trichoderma spp**. 2009. Artigo em Hypertexto.

MASTOURI F, BJÖRKMAN T, HARMAN GE. Seed treatment with Trichoderma harzianum alleviates biotic, abiotic, and physiological stresses in germinating seeds and seedlings. **Phytopathology**, 2010.

MENEZES, M.; SILVA-HANLIN, D. M. W. **Guia Prático para Fungos Fitopatogênicos**. Recife: Imprensa Universitária, 1993.

SILVA, J.C. Rice sheath blight biocontrol and growth promotion by *Trichoderma* isolates from the Amazon. **Revista de Ciências Agrárias / Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 55, p. 243-250. 2012.

SILVA, JÉSSICA O. E. et al. Efeito da temperatura e fotoperíodo na esporulação de *Trichoderma* em meio líquido. **Anais...** CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 6, 2012, Jaguariúna. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente. 2012.

SILVA, R. B. G. et al. Qualidade de mudas clonais de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* em função do substrato. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.3, p. 297- 302, 2012.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4. Ed. Trad. SANTARÉM, E. R. Porto Alegre: RS, Artmed, 2009. 820p.

CAPÍTULO 15

EFEITO FUNGICIDA DO ÓLEO ESSENCIAL DE CAPIM SANTO (*CYMBOPOGON CITRATUS*) COLETADO NA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO CONTRA *FUSARIUM OXYSPORUM* ISOLADO DO FEIJÃO

Data de aceite: 01/09/2023

Thalia Silva Oliveira
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, CCENT
Imperatriz - Maranhão
https://orcid.org/0009-0006-5537-6680

Gabriel Sousa Brito
Universidade Federal do Maranhão, PPGST
Imperatriz - Maranhão
https://orcid.org/0000-0002-8884-8537

Cláudia Marinho Morais
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, CCENT
Imperatriz - Maranhão
http://lattes.cnpq.br/7305969582230902

Marcos Vinicius Morais Silva
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, CCENT
Imperatriz - Maranhão
https://orcid.org/0009-0001-1879-6129

Ivaneide de Oliveira Nascimento
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, CCENT
Imperatriz - Maranhão
https://orcid.org/0000-0001-7095-7092

Francisco Eduardo Aragão Catunda Júnior
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, CCENT
Imperatriz - Maranhão
https://orcid.org/0000-0002-8089-730X

RESUMO: Com a falta de cuidado no manejo do solo, na escolha de feijões não contaminados e no cultivo do mesmo, a proliferação de fungos aumenta causando uma grande infestação na lavoura, essa proliferação é causada principalmente pelo *Fusarium oxysporum*. O objetivo do trabalho foi realizar a avaliação *in vitro* no controle de *F. oxysporum* extraído do feijão utilizando o óleo essencial de *Cymbopogon citratus*. A inibição do fungo *F. oxysporum* utilizando óleo essencial de *C. citratus*, foi estudada a partir da medição do diâmetro micelial das placas. A extração do óleo essencial foi feita por hidrodestilação. A análise dos óleos foi feita por cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massa (GC-EM), geranial e neral foram os constituintes majoritários. Foram realizados dois experimentos: em primeiro momento para verificar a inibição do crescimento micelial do fungo onde o delineamento experimental foi inteiramente

casualizado com 4 tratamentos e 5 repetições, e o segundo a concentração inibitória mínima onde foram feitos 6 tratamentos e 5 repetições. Os tratamentos foram realizados em meio de cultura previamente preparados em BDA com adição do óleo nas seguintes concentrações, para o primeiro experimento: T1: 1,0 μL/mL (Capim Santo Fresco) T2: 1,0 μL/mL (Capim Santo Seco), T3: 2,0 μL/mL (Capim Santo Seco) e Testemunha (TST): somente BDA e para o segundo experimento (todos com somente folha de capim santo seco), nas seguintes concentrações: 0,1; 0,4; 0,7; 1,0; 1,3 e 1,6 μL/mL do óleo essencial. Ao centro de cada placa foi inoculado um disco com diâmetro de 0,5 cm do material fúngico. Os dados foram analisados pelo programa estatístico SISVAR. Todas as concentrações de óleo de capim santo inibiram o crescimento micelial, e alcançaram 100 % de inibição.
PALAVRAS-CHAVE: *Cymbopogon citratus; Fusarium oxysporum;* citral; óleo essencial; feijão.

FUNGICIDAL EFFECT OF LEMONGRASS (*CYMBOPOGON CITRATUS*) COLLECTED IN THE TOCANTINA REGION OF MARANHÃO AGAINST *FUSARIUM OXYSPORUM* ISOLATED FROM BEANS

ABSTRACT: With the lack of care in soil management, in the choice of non-contaminated beans and in its cultivation, the proliferation of fungi increases causing a large infestation in the crop, this proliferation is mainly caused by *Fusarium oxysporum*. The objective of this work was to carry out an in vitro evaluation of the control of *F. oxysporum* extracted from beans using the essential oil of *Cymbopogon citratus*. The inhibition of the fungus *F. oxysporum* using essential oil of *C. citratus* was studied by measuring the mycelial diameter of the plates. The essential oil was extracted by hydrodistillation. The analysis of the oils was performed by gas chromatography coupled to mass spectrometry (GC-MS), geranial and neral were the major constituents. Two experiments were carried out: first, to verify the inhibition of the mycelial growth of the fungus, where the experimental design was completely randomized with 4 treatments and 5 repetitions, and the second, the minimum inhibitory concentration, where 6 treatments and 5 repetitions were performed. The treatments were carried out in a culture medium previously prepared in PDA with the addition of oil at the following concentrations, for the first experiment: T1: 1.0 μL/mL (fresh lemongrass) T2: 1.0 μL/mL (dry lemongrass), T3: 2.0 μL/mL (dry lemongrass) and Control (TST): only PDA and for the second experiment (all with only dried lemongrass leaf), at the following concentrations: 0.1; 0.4; 0.7; 1.0; 1.3 and 1.6 μL/mL of essential oil. A disk with a diameter of 0.5 cm of fungal material was inoculated in the center of each plate. Data were analyzed using the SISVAR statistical program. All concentrations of lemongrass oil inhibited mycelial growth and reached 100% inhibition.
KEYWORDS: *Cymbopogon citratus*; *Fusarium oxysporum*; citral; essential oil; bean.

1 | INTRODUÇÃO

O feijoeiro comum é um dos principais alimentos consumidos pela população brasileira, trazendo consigo uma grande quantidade de benefícios, entre eles o cultivo da planta que se adapta aos diferentes climas do Brasil, quando à interferência de patógenos nos frutos e na planta em si podem causar grandes perdas produtivas, sendo ela uma

doença de difícil controle (Costa *et al*., 2003).

As sementes e planta ao serem infectadas com o fungo causam uma redução na produção e prejudica o enchimento das vagens (Carvalho *et al*., 2011), além de escurecimento dos vasos das raízes e do caule tornando as folhas amareladas e secas. O *Fusarium oxysporum* é uma das doenças mais importantes provenientes do solo e com a falta de cuidado no manejo desse solo, na escolha de feijões não contaminados e no cultivo dos mesmos, a proliferação do fungo aumenta causando uma grande infestação na lavoura (Cândida *et al*., 2009).

Na agricultura a sempre riscos de contaminação do plantio por fungos, causando grandes perdas na produção sendo as micotoxinas produzidas pelo Fusarium prejudiciais à saúde humana e de animais. O *Fusarium oxysporum* está sendo estudado com grande importância por transmitir infecções fúngica invasiva em pacientes imunocomprometidos podendo ocasionar a morte, as principais entradas dessas infecções são através da via respiratória e pelas unhas e mesmo com uma grande quantidade de contaminação pelo fungo pouco se sabe sobre ele e sobre as infecções, causando nos pacientes lesões na pele e dores musculares (Atalla *et al.,* 2010).

Atualmente, o controle da maioria das doenças de plantas é realizado com o tratamento convencional utilizando se agrotóxicos. No entanto, seu uso indiscriminado provoca o acúmulo de substâncias nocivas no solo e na água, levando ao surgimento de populações resistentes aos compostos químicos, além do desequilíbrio ambiental pela falta de seletividade dos produtos utilizados (Souza Júnior *et al*., 2009 *apud* Oliveira *et al*., 2020).

Este fato tem direcionado algumas pesquisas em busca de métodos alternativos de controle fitopatogênico, como os princípios ativos naturais de extratos vegetais e óleos essenciais (Nobre *et al*., 2008).

Os metabolitos secundários produzidos pelas plantas têm trazido bastante benefício a saúde humana, e os óleos essenciais são frequentemente utilizados no controle fúngico e bacteriano (Maia *et al*., 2015).

As plantas possuem grande fator terapêutico na medicina popular, os pesquisadores passaram a aplicar o óleo essencial extraído dessas plantas em agentes infecciosos que comprovaram a qualidade e a alta importância no combate aos agentes patogênicos (Probst, 2012).

Devido a esses dados é de grande importância novas pesquisas visando avaliar a ação antifúngica dos óleos essenciais sobre fungos fitopatogênicos como nova substância capaz de inibir ou até mesmo controlar o desenvolvimento de fitopatógenos.

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo geral a avaliação *in vitro* no controle de *Fusarium oxysporum* extraído do feijão utilizando o óleo essencial de *Cymbopogon citratus*.

2 | METODOLOGIA

A presente pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Microbiologia e Saúde da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), pertencente ao Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnológicas, nos anos de 2019 e 2021.

2.1 Levantamento bibliográfico

Um levantamento bibliográfico sobre o gênero e família permitiu verificar usos etnofarmacológicos, principais constituintes encontrados em cada parte da planta e ensaios biológicos já realizados. Para obtenção dessas informações sobre a composição química das espécies em estudo foi realizada uma busca nas principais plataformas científicas como *Pubmed*, *Science Direct*, *Scopus* e periódicos CAPES, que foram úteis na discussão dos resultados.

2.2 Obtenção do material vegetal e extração de óleos essenciais

As amostras foram coletadas em Senador La Rocque – MA. Localização do GPS no momento da coleta: Latitude (-5,438340, 5° 26' 18,02" S) e Longitude (-47,293305, 47° 17' 35,89" W) às 6:00 h da manhã, sendo elas folhas de *Cymbopogon citratus* (Capim-Santo, C.S), onde as extrações foram realizadas no LABITEC na UEMASUL e no Laboratório de Química da UFMA. A identificação foi realizada no herbário da UEMASUL.

O processo foi realizado por hidrodestilação pelo método de Cleavenger modificado (Shukla *et al.*, 2009), a partir de suas folhas frescas (F.F) e suas folhas secas (F.S) que foram secas a temperatura ambiente durante 1 dia. Depois de pesadas, as amostras foram transferidas para um balão volumétrico de 2 L, em seguida foi adicionado 1 L de água destilada, sendo submetidas a hidrodestilação entre 1:30 h e 2:30 h, após o período de ebulição.

Os óleos essenciais foram armazenados em vidros envoltos de papel alumínio e mantidos em refrigerador até a análise, para a análise biológica os óleos essenciais (OEs) foram esterilizados por filtração em membrana Kasvi de 45 mm de diâmetro.

2.3 Análise dos óleos essenciais

A análise dos óleos e seus componentes foram obtidas através de cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massa (GC-EM), em um espectrômetro da marca Shimadzu, modelo QP-2010 (Quito, Japão), operando com energia de ionização de 70eV realizada pela Universidade Estadual do Ceará.

2.4 Análise da atividade biológica

O fungo *Fusarium oxysporum* foi isolado da Micoteca Professor Gilson Soares da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, sendo cultivado em meio BDA por 7 dias no fotoperíodo a 26ºC e sob 12 horas de luz e 12 horas de escuro.

Logo após a verificação das inibições e da diferença entre o tratamento de planta seca e fresca foi feita uma nova avaliação utilizando os seguintes tratamentos: Tratamento 1 (T1): 25 μL de óleo essencial de Capim Santo Fresco/ 125 mL de meio de cultura BDA Tratamento 2 (T2): 50 μL de óleo essencial de Capim Santo Seco/ 125 mL de meio de cultura BDA, Tratamento 3 (T3): 75 μL de óleo essencial de Capim Santo Seco/ 125 mL de meio de cultura BDA, Tratamento 4 (T4): 100 μL de óleo essencial de Capim Santo Seco/ 125 mL de meio de cultura BDA, Tratamento 5 (T5): 200 μL de óleo essencial de Capim Santo Seco/ 125 mL de meio de cultura BDA e Testemunha (TST): somente BDA, as concentrações finais dos tratamentos foram respectivamente: de 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; e 1,6 μL/mL do óleo essencial, para obter a menor concentração capaz de inibir o crescimento micelial do fungo, nesse tratamento foi escolhido o óleo extraído da planta seca, pois ele gerou um melhor rendimento na extração. Para cada tratamento foi empregado cinco repetições. O óleo essencial puro foi adicionado ao meio BDA fundente com temperatura máxima de 45ºC, e em seguida vertido em placas de Petri de 9 cm de diâmetro.

Após a aplicação dos tratamentos, inoculou-se no centro da placa um disco de 5 mm de diâmetro de BDA contendo o material fúngico. As placas foram vedadas com papel filme, identificadas e colocadas sobre bancadas devidamente esterilizadas, onde simulou-se o próprio laboratório como BOD a uma temperatura de 26ºC controlada por ar-condicionado sobre 12 horas de luz e 12 horas de escuro. As avaliações foram realizadas por medições do diâmetro micelial (média de duas medidas diametralmente opostas), utilizando-se régua escolar, a cada 48 horas para o primeiro experimento e a cada 24 horas para o segundo experimento, a partir da instalação do experimento, perdurando até o decimo dia de avaliação.

A porcentagem de inibição do crescimento (PIC) foi obtida por meio da fórmula: PIC = (diâmetro da testemunha – diâmetro do tratamento) x 100, para cada óleo em relação a testemunha (Bastos, 1997). Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), onde as médias foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. As análises foram realizadas por meio do sistema computacional SISVAR (Ferreira, 2000).

3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Características e rendimentos dos óleos essenciais de *Cymbopogon citratus*

Santos *et al.* (2009) verificaram que o óleo extraído da planta *Cymbopogon citratus*

coletada no período da manhã obteve um maior rendimento em relação aos outros períodos (início da tarde e final da tarde). Os melhores rendimentos além de serem observados para período matutino, foi observado também em dia com altas temperaturas e altos índices pluviométricos, devido a isso as folhas de capim santo foram coletadas pelo período da manhã (Tabela 1) além disso para se obter o material seco as folhas após a coleta foram secas durante um dia no sol e sombra antes de ser realizada a extração das mesmas.

Quando levamos em conta o material fresco e seco da planta na tabela 1 podemos observar que as folhas secas tiveram um rendimento melhor na extração quando comparado com a folha fresca.

Identificação	Data de extração	Horário de coleta	Biomassa das folhas(g)	Peso do óleo(g)	Estado	Rendimento do óleo (%)
OECS 1	05/12/19	06:00	137,99	1,26	Seca	0,91
OECS 2	09/09/20	06:00	556,343	2,15	Fresca	0,38
OECS 3	25/08/21	06:00	136,66	1,72	Seca	1,26
OECS 4	25/08/21	06:00	127,11	1,78	Seca	1,40

*OECS – Óleo Essencial de Capim Santo

Tabela 1. Biomassa do óleo essencial do *Cymbopogon citratus*.

Fonte: Autores (2021).

Segundo Costa *et al.* (2005) a secagem das plantas aromáticas e medicinais visa minimizar a perda de princípios ativos e retardar a sua deterioração em decorrência da redução da atividade enzimática, permitindo a conservação das plantas por um período maior para a sua posterior comercialização e uso. Além disso, os processos de secagem afetam o rendimento e a composição química das espécies, especialmente as aromáticas por possuírem substâncias muito voláteis.

Assim quando se estudado sobre o rendimento de óleo essencial sob diferentes métodos de secagem, foi observado que a secagem à sombra mista (sol e sombra) e secador solar proporcionaram maior rendimento de óleo em comparação à secagem em estufa a 35 ºC (Von Hertwig, 1998 *apud* Corrêa *et al.* 2004). Martins *et al.* (2002) observou que em seus resultados de extração de capim santo foram localizados níveis muito baixos de citral no produto fresco (61,5%), pois apesar das médias serem estatisticamente iguais, é possível que o menor conteúdo de água nas folhas, após a secagem, permita que a corrente de vapor gerada no extrator possa arrastar mais eficientemente as substâncias voláteis armazenadas nas células, quando comparado com o material verde.

3.2 Composição química do óleo essencial de *Cymbopogon citratus*

Com a análises da composição do óleo essencial de *Cymbopogon citratus* e seus percentuais, pode-se observar o geranial e o neral como constituinte químico majoritários. Na figura 1 e 2, respectivamente, podemos observar a representação em formato gráfico do espectro de massa dos componentes majoritários (neral e geranial).

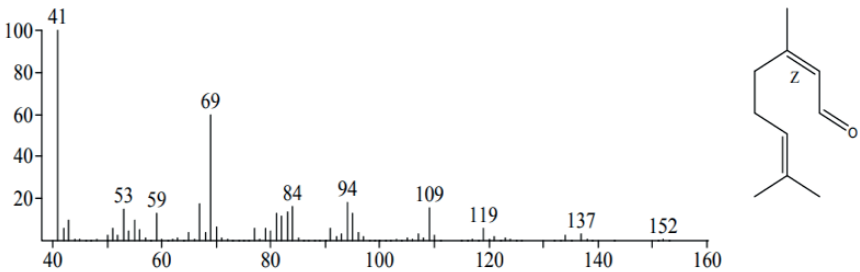


Figura 1. Espectro de massa do componente neral.

Fonte: ADAMS (2017).

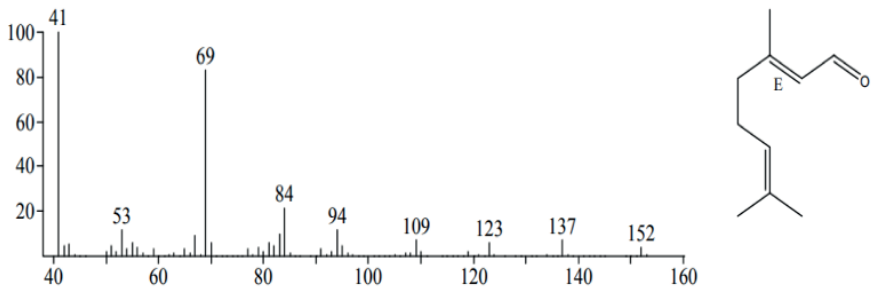


Figura 2. Espectro de massa do componente geraniale.

Fonte: ADAMS (2017).

Os percentuais dos componentes majoritários do óleo essencial geranial e neral, assim como os outros componentes químicos encontrados no óleo da planta, poderão ser observados na tabela 2.

Constituintes	IKc	IK_{Lit}	Teor (%)			
			OECS 1	OECS 2	OECS 3	OECS 4
6-metil-5-Hepten-2-ona	989	985	0,70	0,24	-	-
Mirceno	992	990	7,70	-	-	-
6,7-Epoximirceno	1094	1092	0,34	-	-	-
Linalol	1003	1096	1,04	0,51	-	-
Z-Isocitral	1167	1164	1,04	-	-	-
E-Isocitral	1185	1180	1,51	-	-	-
Neral	1249	1238	**35,04**	**30,32**	**38,37**	**33,00**
Geraniol	1258	1252	1,97	0,95	1,58	-
Geranial	1279	1267	**44,04**	**46,57**	**55,03**	**51,78**
Hidroxi citronelal	1291	1288	1,55	7,39	-	-
2-Undecanona	1296	1294	0,34	0,43	-	-
Z-Jasmone			-	-	-	-
Acetato de Geranila	1381	1381	0,41	-	-	-
2-Tridecanona	1497	1496	0,20	-	-	-
1,8-Cineol			-	0,71	-	-
Metil chavicol			-	-	-	-
Nerol			-	-	-	-
Shisofuran			-	0,31	-	-
Piperitone			-	0,37	-	-
β-Mirceno			-	-	2,13	-
2,7-dimetil-octan-2,7-diol			-	-	1,13	3,95
Mentoglicol			-	-	1,76	6,18
Epóxi-linalolóxido			-	-	-	5,09
Outros			4,12	12,20	-	-
Total			100,00	100,00	100,00	100,00

*OECS – Óleo Essencial de Capim Santo –

Tabela 2. Composição química, índice de Kovats obtido da literatura (KILit.), índice de Kovats calculado (KIC), porcentagens de componentes identificados e classes dos mesmos (%) nos óleos essenciais de folhas de *Cymbopogon citratus.*

Fonte: Autores (2022).

Na análise qualitativa do óleo essencial de *C. citratus*, Costa et al., (2005) observou que os componentes majoritários presentes no óleo foram o neral e o geranial. A mistura destes dois isômeros forma o citral, principal constituinte do óleo essencial de *C. citratus* (Sousa *et al.,* 1991 *apud* Costa *et al.*, 2005).

Aquino et al., (2014) e Martins et al., (2002) também observaram que os principais constituintes do óleo de *C. citratus* foram os isômeros E-citral e Z-citral ou uma mistura dos isômeros. As variações de porcentagem observadas nos diversos resultados de trabalhos podem ser em função da sazonalidade, fatores edafoclimáticos, e aspectos genéticos da planta (Van Vuuren, 2008 *apud* Aquino *et al.*, 2014).

3.3 Atividade antifúngica do óleo essencial de *Cymbopogon citratus*

Os resultados da primeira avaliação da atividade antifúngica do óleo essencial de *Cymbopogon citratus* (Capim-Santo), no crescimento micelial *in vitro* de *Fusarium oxysporum*, mostraram-se satisfatórios apresentando atividade inibitória significativa a nível de 5 % de probabilidade pelo teste Tukey, onde podemos observar que todas as concentrações promoveram inibição micelial sendo todas elas 100%, independentemente de o óleo ter sido de folha fresca ou seca, não houve interferência (Tabela 3).

TRAT. (µL)	CM (cm)	PIC (%)
TST=0 µL/mL de óleo de *Cymbopogon sp.*	1,84 a	0
T1= 1,0 µL/mL de óleo de *Cymbopogon sp.* F.F	0,00 b	100
T2= 1,0 µL/mL de óleo de *Cymbopogon sp.* F.S	0,00 b	100
T3= 2,0 µL/mL de óleo de *Cymbopogon sp* F.S.	0,00 b	100
CV (%)	0,43	

*TST – Testemunha; T1 – Tratamento 1; T2 - Tratamento 2; T3 - Tratamento 3

*F.F - Folha Fresca; F.S - Folha Seca

Tabela 3. Análise do crescimento micelial e porcentagem de inibição do crescimento de *Fusarium oxysporum* em meio de cultura com óleo essencial de *Cymbopogon citratus,* com a média dos dez dias, após implantação do experimento.

Fonte: Autores (2019) (com o uso do Sisvar).

Observou-se que no primeiro dia houve crescimento micelial da testemunha, mas não dos tratamentos, durante o decorrer dos 10 dias todas as concentrações do óleo continuaram inibindo o crescimento micelial do fungo (Gráfico 1).

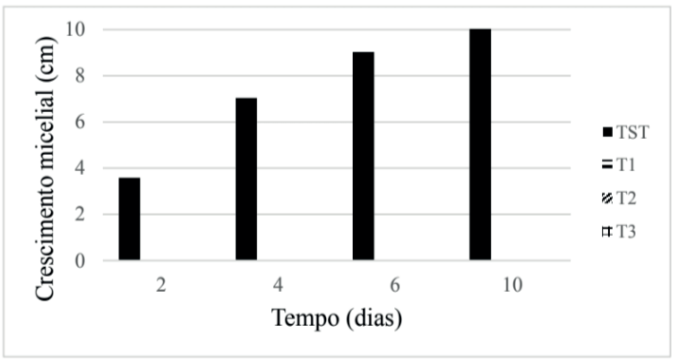


Gráfico 1. Avaliação do crescimento micelial a cada 48 horas do fungo *Fusarium oxysporum* meio de cultura com óleo essencial de *Cymbopogon citratus.*

Fonte: Autores (2019).

Carnelossi et al. (2009) mostrou que o óleo de *C. citratus* foi eficiente na inibição do crescimento micelial de *C. gloeosporioides in vitro* pois causou inibição de 100% a partir da alíquota de 10 mL. Alves *et al*. (2003) Observou a eficiência do óleo de *Cymbopogon citratus*, no controle *in vitro* dos fungos *Colletotrichum gloeosporioides*, *C. musae* e *Fusarium subglutinans f.* sp*. ananas*.

Devido ao fato de na primeira avaliação as folhas secas terem mostrado um rendimento melhor em relação as folhas frescas para a extração e a segunda avaliação de atividade antifúngica do óleo essencial de *Cymbogon citratus* foram utilizados somente folhas secas. Para a mesma foram utilizadas concentrações menores que as anteriores, para obter a menor concentração capaz de inibir o crescimento micelial do fungo. Os resultados da análise da atividade antifúngica do óleo essencial de *Cymbopogon citratus* (capim-santo), no crescimento micelial *in vitro* de *Fusarium oxysporum*, mostraram-se novamente satisfatórios apresentando atividade inibitória significativa a nível de 5 % de probabilidade pelo teste Tukey, onde podemos observar que todas as concentrações da mais baixa a mais alta promoveram inibição micelial sendo todas elas 100%, dessa maneira foi observado que a menor concentração capaz de inibir o crescimento micelial do fungo foi de 0,2 μL/mL (Tabela 4).

TRAT. (μL)	**CM (cm)**	**PIC (%)**
TST=0 μL/mL de óleo de *C. citratus*	2,48 a	0
T1= 0,2 μL/mL de óleo de *C. citratus*	0,00 b	100
T2= 0,4 μL/mL de óleo de *C. citratus*	0,00 b	100
T3= 0,6 μL/mL de óleo de *C. citratus*	0,00 b	100
T4= 0,8 μL/mL de óleo de *C. citratus*	0,00 b	100
T5= 1,6 μL/mL de óleo de *C. citratus*	0,00 b	100
CV (%)	3,06	

*TST – Testemunha; T1 – Tratamento 1; T2 - Tratamento 2; T3 - Tratamento 3; T4 - Tratamento 4; T5 – Tratamento 5; *F.S - Folha Seca –

Tabela 4. Análise do crescimento micelial e porcentagem de inibição do crescimento de *Fusarium oxysporum* em meio de cultura com óleo essencial de *Cymbopogon citratus,* com a média dos dez dias, após implantação do experimento.

Fonte: Autores (2021).

Observou-se novamente que no primeiro dia houve crescimento micelial da testemunha, mas não dos tratamentos, durante o decorrer dos 10 dias todas as concentrações do óleo continuaram inibindo o crescimento micelial do fungo (Gráfico 2 e Figura 3).

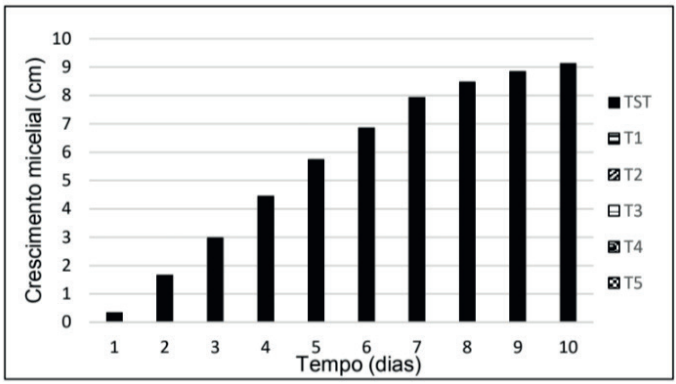


Gráfico 2. Avaliação do crescimento micelial a cada 24 horas do fungo *Fusarium oxysporum* meio de cultura com óleo essencial de *Cymbopogon citratus.*

Fonte: Autores (2021).

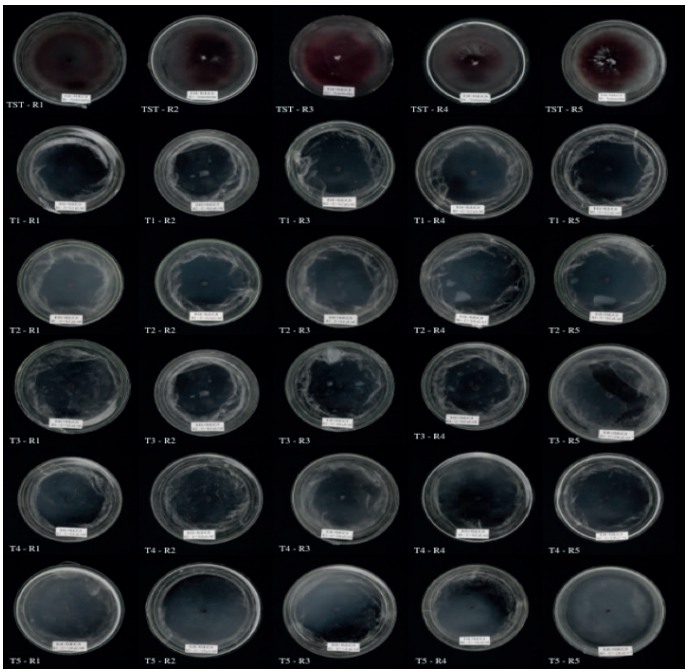


Figura 3. Crescimento micelial do fungo *Fusarium oxysporum* no último dia de avaliação. TST R1 a R5: Testemunha. T1 R1 a R5: 0,2 μL/Ml. 21 R1 a R5: 0,4 μL/mL. T3 R1 a R5: 0,6 μL/mL. T4 R1 a R5: 0,8 μL/mL. T5 R1 a R5: 1,6 μL/mL

Fonte: Autores (2021).

Com esses dados foi possível observar que o óleo essencial de capim – santo inibiu 100% o crescimento micelial do fungo em todas as concentrações utilizadas mostrando assim sua eficiência e sua ação antifúngica sobre fungos fitopatogênicos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O óleo essencial de *Cymbopogon citratus* apresentou a inibição do crescimento micelial do fungo nas diferentes concentrações de tratamento independentemente de o óleo ser de folha fresca ou seca, onde pode-se observar que esse fato não interfere na inibição sendo os dois da mesma forma eficientes. Além disso também foi possível encontrar a concentração inibidora mínima para o crescimento micelial do fungo sendo ela de 0,2 μL/mL, observando que os componentes majoritários dos óleos foram o geranial e o neral onde os mesmos podem ser os responsáveis pela propriedade antifúngica do óleo, porém não se pode descartar o sinergismo entre os outros componentes presentes no óleo essencial da planta.

Dessa maneira faz se necessário futuros testes para que haja uma comparação entre os componentes majoritários isolados e o óleo essencial da planta com todos os seus componentes, assim também como uma avaliação *in vivo* do óleo essencial na planta do feijão para que seja observado se a mesma terá algum sintoma em relação a esse tratamento, para que o controle biológico com óleo essencial seja uma alternativa eficaz além de fungicidas comerciais.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão – FAPEMA pela concessão da Bolsa de Iniciação Científica e a Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão UEMASUL.

REFERÊNCIAS

ALVES, E.S.S.B.; PUPO, M.S.; MARQUES, S.S.; VILCHES, T.T.B.; SANTOS, R.B.; VENTURA, J.A.; FERNANDO, P.M.A. **Avaliação de óleos essenciais na inibição do crescimento de fungos de fruteiras tropicais**. *In*: Fitopatologia Brasileira, 36., 2003, Uberlândia. Resumos [...] Lavras: Sociedade Brasileira de Fitopatologia, Uberlândia, 2003. p.343.

AQUINO, C.F.; SALES, N.L.P.; SOARES, E.P.S.; MARTINS, E.R.; COSTA, C.A. Composição química e atividade in vitro de três óleos essenciais sobre *Colletotrichum gloeosporioides* do maracujazeiro. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, Campinas, v. 16, n. 2, p. 329–336, 2014. Supl. 3.

ATALLA, A.; NETO, A.E.H.; DOS SANTOS RIBEIRO, C.C.O.; DE OLIVEIRA, L.R.P.; RIANI, L.R.; SOARES, G.M.T. Fusariose em transplante autólogo de medula óssea: relato de caso e considerações associadas. **HU Revista**, Juiz de Fora, v. 36, n. 3, jul./set. 2010.

BASTOS, C.N. Efeito do óleo de Piper aduncum sobre Crinipelis e outros fungos fitopatogênicos. **Fitopatologia Brasileira**, v.22, n.3, p.441-443, 1997.

CÂNDIDA, D.V.; COSTA, J.G.C.; RAVA, C.A.; CARNEIRO, M.S. Controle genético da murcha do Fusário (*Fusarium oxysporum*) em feijoeiro comum. **Tropical Plant Pathology**, v. 34, n. 6, p. 379–384, nov./dez. 2009.

CARNELOSSI, P.R.; SCHWAN-ESTRADA, K.R.F.; CRUZ, M.E.S.; ITAKO, A.T.; MESQUINI, R.M. Óleos essenciais no controle pós-colheita de *Colletotrichum gloeosporioides* em mamão. **Rev. bras. plantas med**, Botucatu, v.11, n.4, p. 399-406, 2009.

CARVALHO, D.D.C.; MELLO, S.C.M.; LOBO JÚNIOR, M. & SILVA, M.C. Controle de Fusarium oxysporum f. sp. phaseoli in vitro e em sementes, e promoção do crescimento inicial do feijoeiro comum por *Trichoderma harzianum*. **Tropical Plant Pathology**, v. 36, n. 1, p. 28-34, jan./fev. 2011.

CORRÊA, R.M.; BERTOLUCCI, S.K.V.; PINTO, J.E.B.P.; REIS, E.S.; ALVESAL, T.L. Rendimento de óleo essencial e caracterização organoléptica de folhas de assa-peixe submetidas a diferentes métodos de secagem. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, n. 2, p. 339-344, mar./abr. 2004.

COSTA, L. C. do B.; CORRÊA, R.M.; CARDOSO, J.C.W.; PINTO, J.E.B.P.; BERTOLUCCI, S.K.V.; FERRIAL, P.H. Secagem e fragmentação da matéria seca no rendimento e composição do óleo essencial de capim-limão. Horticultura Brasileira, v. 23, n. 4, p. 956–959, out./dez. 2005.

COSTA, M.L.N.; MACHADO, J.C.; GUIMARÃES, R.M.; POZZA, E.A.; ORIDE, D. Inoculação de Fusarium oxysporum f. sp. phaseoli em sementes de feijoeiro através de restrição hídrica. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, n. 5, p. 1023–1030, set./out. 2003.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In. REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais [...]** São Carlos, SP, 2000, p. 255-258.

MAIA, T.F.; DONATO, A.; FRAGA, M.E. Atividade antifúngica de óleos essenciais de plantas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 17, n. 1, p. 105-116, 2015.

MARTINS, P.M.; MELO, E.C.; BARBOSA, L.C.A.; SANTOS, R.H.S. & MACHADO, M.C. Influence of the temperature and speed of drying air in the content and chemical composition of the essential oil of lemongrass. **Acta Horticulturae**, v. 569, p. 155–161, 2002.

NOBRE, P.B.; AZEVEDO, D.M.Q.; BATISTA, G.N.; NOBRE, S.A.M. Efeito de extrato vegetal sobre a germinação de esporos de Fusarium solani isolados de sementes de Pinhão manso. In: **Anais...** V Encontro Norte- mineiro de Biólogos, p. 1-3, 2008.

OLIVEIRA, C. A. et al. Eixo temático: Manejo de Agroecossistemas de base ecológica. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 2, p. 1–4, 2020.

PROBST, Isabella da Silva. **Atividade antibacteriana de óleos essenciais e avaliação de potencial sinergético**. 2012. Dissertação (mestrado em Biologia Geral e Aplicada) - Instituto de Biociências, UNESP, Botucatu, p. 112, 2012.

SANTOS, A. et al. Determinação do rendimento e atividade antimicrobiana do óleo essencial de Cymbopogon citratus (DC.) Stapf em função de sazonalidade e consorciamento. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 19, n. 2a, p. 436–441, abr./jun. 2009.

SHUKLA, R.; Kumar, A.; Singh, P.; Dubeyal, N.K. **Efficacy of Lippia alba (Mill.) N.E. Brown essential oil and its monoterpene aldehyde constituents against fungi isolated from some edible legume seeds and aflatoxin B1 production**. International Journal of Food Microbiology, v. 135, n. 2, p. 165-170, 2009.

CAPÍTULO 16

TEOR DE FÓSFORO NA CULTURA DA SOJA EM FUNÇÃO DA ASSOCIAÇÃO DOS FUNGOS MICORRÍZICOS E ADUBAÇÃO FOSFATADA

Data de aceite: 01/09/2023

Mario Soares da Silva Junior
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
Imperatriz – MA
http://lattes.cnpq.br/0588733384143348

Ivaneide de Oliveira Nascimento
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
Imperatriz – MA
http://orcid.org/0000-0001-7095-7092

Júlio Oliveira Anastácio
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
Imperatriz – MA
http://orcid.org/0009-0002-0394-9273

Gabriel Souza Santos
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
Imperatriz – MA
http://orcid.org/0009-0007-1060-4747

Júlia Silva Nepomuceno
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
Imperatriz – MA
http://orcid.org/0009-0007-8077-7002

Thiago Palhares Farias
Instituto Federal do Maranhão
São Luís - MA
http://orcid.org/0000-0001-8628-8196

Jorge Diniz de Oliveira
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
Imperatriz – MA
https://orcid.org/0000-0001-9421-0524

Sheila Elke Araújo Nunes
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
Imperatriz – MA
https://orcid.org/0000-0002-2309-7314

RESUMO: Os fungos micorrízicos apresentam-se como uma alternativa sustentável, frente à alta de preços dos insumos e também da degradação de solos em muitas regiões, isso porque eles se associam às raízes das plantas, inclusive de soja, buscando a própria sobrevivência, mas acabam ajudando-as na retenção e absorção de nutrientes e água; o que favorece a cultura e pode aumentar sensivelmente a produtividade e a qualidade do produto. Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o teor de fósforo na cultura da soja, tendo em vista a inoculação de fungos micorrízicos associada à adubação fosfatada. No experimento em blocos casualizados, se

inoculou Rootella BR, que contém fungo micorrízico e se associou a fósforo em distintas dosagens; em 8 (oito) tratamentos, com e sem fungos, e com diferentes doses de P_2O_5, com quatro repetições. Quanto aos resultados, verificou-se que não houve substancial aumento do fósforo nas plantas examinadas e concluiu-se que isso ocorreu devido ao fato de o solo já se encontrar em boas condições, sendo capaz de suprir as necessidades dessas plantas.
PALAVRAS-CHAVE: Teor. Fósforo. Soja. Fungos Micorrízicos. Adubação Fosfatada.

PHOSPHORUS CONTENT IN SOYBEAN CULTURE DUE TO THE ASSOCIATION OF MYCORRHIZAL FUNGI AND PHOSPHATE FERTILIZATION

ABSTRACT: Mycorrhizal fungi present themselves as a sustainable alternative, given the high prices of inputs and also the degradation of soils in many regions, this is because they associate with the roots of plants, including soybeans, seeking their own survival, but end up helping -the retention and absorption of nutrients and water; which favors the culture and can significantly increase productivity and product quality. Thus, the present work aimed to evaluate the phosphorus content in soybean, considering the inoculation of mycorrhizal fungi associated with phosphate fertilization. In the randomized block experiment, Rootella BR, which contains mycorrhizal fungus and was associated with phosphorus at different dosages, was inoculated; in 8 (eight) treatments, with and without fungi, and with different doses of P2O5, with four replications. As for the results, it was found that there was no substantial increase in phosphorus in the plants examined and it was concluded that this was due to the fact that the soil was already in good condition, being able to supply the needs of these plants.
KEYWORDS: Content. Phosphor. Soy. Mycorrhizal fungi. Phosphate Fertilization.

1 I INTRODUÇÃO

Um dos produtos mais importantes para o agronegócio brasileiro, é a soja *Glycine max* L. Merrill, sendo o Brasil, atualmente um dos maiores produtores e exportadores do produto. É uma leguminosa e oleaginosa de origem asiática que ganhou força a partir de pesquisas, técnicas e tecnologias mecanizadas de cultivo (Sediyama *et al.*, 2015; Milioli, 2021). Porém, segundo Almeida (1999) citado por Milioli (2021), ao chegar no Brasil por volta do século XV, os cultivos não estavam adaptados à diferença de latitude, o que provocava um baixo desenvolvimento e produtividade de grãos nas condições da região do Norte, Nordeste e Centro-oeste, necessitando assim de um melhoramento para sua adaptação.

Uma dessas técnicas é a associação da cultura com fungos micorrízicos que melhora a retenção de nutrientes e água (Carneiro *et al.*, 2011; França *et al.,* 2014; Brito *et al.,* 2017). Definida por Carneiro *et al.* (2011) como uma associação simbiótica de carácter mutualista que beneficia ambos envolvidos na relação e pode provocar um diferencial na produção. Plantas associadas a fungos micorrízicos apresentam um melhor processo de fotossíntese se tornando mais resistentes ao déficit hídrico, além de melhorar a absorção de fósforo, aumentando a produtividade da planta (Silva, 2022; Buzo *et al.,* 2021). Segundo

Gonçalves (2020), os fungos micorrízicos arbusculares se apresentam como uma alternativa sustentável e viável na produção de culturas, já que os fertilizantes industrializados são um recurso que demanda capital e inúmeras pesquisas.

Com os benefícios desse fungo já sendo conhecido como bom para o desenvolvimento e a absorção de nutrientes é encontrado com facilidade artigos tratando desse tipo de associação em diferentes culturas: França *et al.* (2014) analisa o crescimento e desenvolvimento de mudas de café inoculadas com fungos micorrízicos em sistema casualizado de seis repetições, resultando em um maior crescimento da planta após 150 dias, período em que a planta já apresenta área foliar; Carneiro *et al*. (2011) a partir de experimento com forrageiras consorciadas, utilizando adubação fosfatada e inoculação de fungos micorrízicos, concluiu vantagens na produtividade, da mesma forma que o trabalho desenvolvido por Brito *et al.* (2017) feito com mudas de paricá apresentaram melhor nutrição e crescimento a partir da associação; Já Buzo (2021) avaliou os benefícios do experimento em produção de milho com o fungo *Rhizophagus intraradices* que melhorou o desenvolvimento da planta e o teor de nutrientes em seus grãos.

De acordo com Oliveira *et al.* (2019) a soja é muito afetada pelas mudanças climáticas e os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) podem ser uma boa alternativa para condições adversas e melhorar o desenvolvimento da planta, a partir de um melhoramento na absorção de nutrientes, o que o fez desenvolver um estudo experimental com soja associada ao FMA *Rhizophagus clarus* para avaliar a produtividade da cultura, obtendo resultado no qual, a cultura associada ao fungo micorrízico mesmo em déficit hídrico obteve mais produção de grãos do que culturas não associadas que estavam recebendo boa irrigação. Andrade *et al.* (2018) desenvolveram um experimento com fungos micorrízicos arbusculares e fósforo no desenvolvimento da cultura da soja no Estado do Piauí, e concluíram que os fungos contribuem na absorção de fósforo e auxiliam na produtividade de grãos.

Como a cultura da soja (*Glycine max* L. Merrill) é um dos principais produtos para o agronegócio brasileiro, que colabora para o PIB (Produto Interno Bruto), e necessita de técnicas para melhorar a absorção do fósforo, desenvolveu-se estudo experimental de campo para determinar os teores de fósforo em caules e folhas de soja, a partir do cultivo desta cultura em solo com fungos micorrízicos e adubação fosfatada.

2 | METODOLOGIA

Esse trabalho resultou de um experimento realizado na Fazenda Ângelo Gabriel no município de Dom Eliseu, Estado do Pará, que tem uma área de 1 hectare. Implantado em espaçamento de 50 cm de linhas de plantio, com blocos casualizados em 8 tratamentos (com 9 metros de largura por 100 de comprimento) e 4 repetições, sendo T1 ao T4 sem Rotella BR (produto natural à base de *Rhizophagus intraradices*) e com dosagens crescentes de P_2O_5 a partir da testemunha. Já T5 a T8 Rotella BR e as dosagens de adubação (Quadro

1), com análise da parte aérea da planta sendo feita em laboratório, para avaliação dos teores de fósforo.

BLOCO 1	BLOCO 2	BLOCO 3	BLOCO 4
2	8	6	7
5	5	3	8
1	3	7	2
8	4	2	6
3	2	8	4
7	7	1	1
4	6	5	3
6	1	4	5

Quadro 1. Distribuição das repetições e tratamentos: blocos casualizados.

Fonte: Autores (2022).

Os tratamentos foram compostos da seguinte maneira:
Tratamento 1 (T1): 0 kg de P_2O_5 e sem ROOTELLA BR (testemunha);
Tratamento 2 (T2): 133,2 kg P_2O_5 sem ROOTELLA BR;
Tratamento 3 (T3): 224 kg P_2O_5 sem ROOTELLA BR;
Tratamento 4 (T4): 346 kg P_2O_5 sem ROOTELLA BR (Padrão fazenda);
Tratamento 5 (T5): 0 kg de P_2O_5 e com ROOTELLA BR (testemunha);
Tratamento 6 (T6): 133,2 kg P_2O_5 com ROOTELLA BR;
Tratamento 7 (T7): 224 kg P_2O_5 com ROOTELLA BR;
Tratamento 8 (T8): 346 kg P_2O_5 com ROOTELLA BR (Padrão fazenda).

O tratamento da semente foi feito com a aplicação de Rotella BR na dose recomendada de 120 g/ha, 120 mL/ha de inoculante líquido (*Bradyrhizobium japonicum*) 240 g/ha do turfoso (Bioma Brady), 100mL/ha de enraizante (Acaplus), 100mL/ha de StimuControl (*Trichoderma harzianum*), para 33 kg de semente/ha.

A extração do fósforo foi realizada, através da metodologia de Mehlich-1, com moagem do material coletado em campo, identificação e armazenamento. 1 grama da amostra foi colocada no erlenmeyer e misturado 10 mL da solução de Mehlich^{-1} com a proporção de 1:10, processo repetido com todas as 64 amostras. A solução foi levada à mesa agitadora a 120 rpm por 5 minutos e a decantação durou 16 horas em temperatura ambiente. As amostras decantadas foram filtradas pela gravidade em papéis de filtro WHATMAN 40 e levadas a leitura no espectrofotômetro realizada com curva de calibração y=C1*0,041/mA, com concentração de 0,02; 0,04; 0,08 e 0,16 mg/L a partir de uma solução

mãe de KH_2PO_4 a 10 mg/L, usando como reagente um kit comercial de determinação de fósforo. Para a determinação desse fósforo nas amostras utilizou-se 1 mL da solução filtrada da amostra e foi adicionou-se 40 mL de água destilada. Dessa amostra coletou-se 2,5 mL com o auxílio de uma micropipeta e colocou-se em tubos de ensaio esterilizados com solução de limpeza e água destilada. Em cada tubo de ensaio foi colocado 1 gota do Reagente 1 (catalisador), agitado e depois armazenado na geladeira por 3 minutos. Decorrido esse tempo, colocou-se 2 gotas do Reagente 2 (molibidato), levando a agitação e deixando 5 minutos em descanso.

A partir desse tempo, foi realizada a leitura das amostras no espectrofotômetro. Com os dados coletados no aparelho de leitura, determinou-se as concentrações de fósforo das amostras e com esses dados foi criada uma curva de calibração para realização dos cálculos de determinação do fósforo no caule e folha da soja.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Scott Knott, adotando-se o nível de 5% de probabilidade, utilizando-se o programa estatístico Sisvar (*Computer Statistical Analysis System*, versão 5.6).

3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados mostram que não houve diferença significativa ao nível 5% com o teste de *Scott Knott*, entre os tratamentos quanto ao teor de fósforo no caule e na folha de soja, sob cultivo em solo com diferentes doses de adubação fosfatada em associação com semente microbiolização com produto comercial à base do fungo micorrízico, *Rhizophagus intraradices* (Tabela 2).

TRATAMENTO	TEOR DE P NA FOLHA (mg.kg)	TEOR DE P NO CAULE (mg.kg)
T1: 0kg P2O5 S/R	3,93 a	1,46 a
T2: 133,2 kg P2O5 S/R	3,32 a	2,79 a
T3: 224 kg P2O5 S/R	1,75 a	2,47 a
T4: 346 kg P2O5 S/R	1,21 a	3,93 a
T5: 0kg P2O5 C/R	1,76 a	1,99 a
T6: 133,2 kg P2O5C/R	3,52 a	2,46 a
T7: 224 kg P2O5 C/R	2,99 a	1,66 a
T8: 346 kg P2O5 C/R	1,11 a	1,67 a
CV (%)	36,63	28,34

*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si segundo Scott knott a 5% de probabilidade. CV= Coeficiente de variação. S//R= sem rootella; C/R= com rootella.

Tabela 2. Teor de fósforo em caule e folha de soja, proveniente de cultivo sob adubação fosfatada e sementes com e sem a inoculação de Rootella BR a base de *Rhizophagus intraradices.*

Fonte: Autores (2022).

Diferentemente dos resultados encontrados por Marin et al. (2015) e Buzo et al. (2021), os quais observaram que a inoculação de plantas de soja com fungos micorrízicos alterou substancialmente tanto a absorção de fósforo como de água, melhorando de forma consistente a produtividade de grãos.

Segundo Freitas (2022), o fósforo é um dos mais importantes nutrientes para a agricultura; mas em solos mais velhos a disponibilidade desse nutriente costuma ser baixa. Por isso, a grande necessidade de se praticar a adubação fosfatada para que as plantas possam se desenvolver de forma mais eficiente; sendo que este costuma ser o maior gasto das lavouras, já que os fertilizantes possuem um valor agregado mais alto. Nesse caso, a inoculação de micorrizas e até mesmo de bactérias pode ser uma boa alternativa para a diminuição desses custos, além das grandes vantagens ambientais

Contudo, no caso do presente experimento, os teores de P (fósforo) naquela área são de necessidades de recomposição de adubação baixa, devido à alta disponibilidade do nutriente no solo e os resultados obtidos, como se analisará a seguir, não foram os esperados.

Outro ponto que precisa ser discutido diz respeito ao prazo de armazenagem das sementes, após a inoculação. No presente caso, as sementes foram inoculadas e logo após plantadas, o que segundo Vieira (2022), melhora o crescimento da soja. De acordo com o autor, o armazenamento de 0 (zero) a 90 (noventa) dias diminui o crescimento dessa cultura. Por isso, a inoculação e o breve plantio também costuma ser a melhor alternativa.

Os fatores que podem ter interferido nos resultados esperados foram: 1) a área trabalhada necessitar de baixa reposição de fósforo, o que provocava mudanças menos notórias em comparação com áreas devastadas O resultado é justificado pela fertilidade do solo, pois com a disponibilidade de nutrientes sendo suficientes, não houve contribuição extra da simbiose para a maioria deles. (Buzo, 2021, p. 40); 2) chuvas intensas na área antes da colheita; 3) durante o tratamento da semente, houve uma associação do produto à base de *Rhizophagus intraradices,* com outros produtos a saber, inoculante líquido (*Bradyrhizobium japonicum*), turfoso (Bioma Brady), enraizante (Aca Plus) e StimuControl (*Trichoderma harzianum*); 4) As plantas foram coletadas no período de maturação, e é nessa fase que as plantas entram em processo de translocação, no qual elas utilizam os nutrientes retidos na raiz e jogam para o caule, folha e frutos para o processo produtivo, o que caracteriza uma necessidade de novos experimentos para analisar o teor de fósforo com a planta em fase vegetativa, pois segundo Buzo (2021), o período em que a planta mais necessita de nutrientes é o fim da fase vegetativa e início da fase reprodutiva.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, F. R. et al. Estimulante de micorrização em soja associado à adubação fosfatada em latossolos. **Revista Caatinga,** Mossoró, v. 31, n. 4, p. 823-831. 2018.

BRITO, V. N. et al. Fungos micorrízicos arbusculares e adubação fosfatada na produção de mudas de paricá. **Revista Ciência Florestal**, v. 27, n. 2, p. 485-497. 2017.

BUZO, F. S. **Micorrizas na cultura do milho: promoção de crescimento e maior eficiência da adubação fosfatada**. 2021. 99 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2021.

CARNEIRO, R. F. V. et al. Inoculação micorrízica arbuscular e adubação fosfatada no cultivo de forrageiras consorciadas. **Archivos de Zootecnia**, v. 60, n. 232, p. 1191-1202. 2011.

FRANÇA, A. C. et al. Crescimento de mudas de cafeeiro inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 4, p. 506-511. 2014.

FREITAS, Beatriz Souto. **Bioindicadores de qualidade do solo e produtividade da soja em função do residual da adubação fosfatada e inoculação das gramíneas antecessoras com Azospirillum brasilense**. 2022. 74 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Sistemas de Produção Agrícola) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2022.

GONÇALVES, G. K. et al. Adubação fosfatada para cultivares de soja. **Brazilian Journal of Development**,Curitiba, v. 6, n. 4, p.19151-19161. 2020.

MARIN, R. S. F. et al. Efeito da adubação fosfatada na produção de sementes de soja. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 62, n. 3, p. 265-274. 2015.

MILIOLI, A. S. **Ganho genético em caracteres agronômicos, fenológicos e bioquímicos de soja**. 2021. 84 f. Tese de Doutorado (Doutorado em Agronomia) – Departamento Acadêmico de Ciências Agrárias, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco - PR, 2021.

OLIVEIRA, T. C. et al. Produtividade da soja em associação ao fungo micorrízico arbuscular Rhizophagus clarus cultivado em condições de campo. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 18, n. 4, p. 530-535, 2019.

SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BORÉM, A. **Soja do plantio à colheita**. Viçosa – MG: Editora UFV, 2015.

SILVA, L. N. **Tolerância fisiológica de plantas de soja submetidas a diferentes níveis de déficit hídrico inoculadas com fungos micorrízicos**. 2022. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Instituto Federal Goiano, Rio Verde – GO, 2022.

VIEIRA, A. S. **Crescimento e colonização micorrízica de culturas de interesse agrícola após tratamento de sementes com inoculante a base de rhizophagus intraradices e de agroquímicos**. 2022. 81 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciências – Recursos Genéticos Vegetais) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.

CAPÍTULO 17

EFEITOS DAS ATIVIDADES AGRÍCOLAS NA ATIVIDADE MICROBIANA EM SOLOS RIZOSFÉRICOS DO CERRADO MERIDIONAL MARANHENSE

Data de aceite: 01/09/2023

Antônio Eleilson da Silva Torres
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), Imperatriz – Maranhão
https://orcid.org/0009-0006-6329-4255

José Fábio França Orlanda
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL) Imperatriz – Maranhão
https://orcid.org/0000-0002-6402-6192

Marcelo Francisco da Silva
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL) Imperatriz – Maranhão
https://orcid.org/0000-0002-9148-6725

Wellyson da Cunha Araújo Firmo
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL) Imperatriz – Maranhão
https://orcid.org/0000-0002-6979-1184

RESUMO: Os solos do cerrado meridional maranhense destacam-se pelo seu potencial agrícola produtivo, visto que as atividades agrícolas são favoráveis pelas condições climáticas e topográficas da região. Nesse estudo foram avaliados os efeitos das atividades agrícolas na atividade e densidade microbiana em solos coletados nos municípios de Senador Edson Lobão e Balsas (MA), na profundidade de 0 a 20 cm em diferentes condições de práticas agrícolas. Os resultados demonstraram que a comunidade bacteriana apresentou maior população em solos com cultivo de soja, feijão, mandioca e virgem (3.000 a 22.000 a UFC g^{-1} de solo), e mandioca, virgem e soja para fungos (9.100 a 25.000 UFC g^{-1} de solo). As taxas de respiração microbiana mostraram variações de 0,275 a 0,055 μ C-CO_2 g^{-1} de solo, com maiores valores nos solos cultivados com soja, mandioca, feijão, nativo e queimadas. Dessa forma, este estudo forneceu um importante passo para o entendimento da dinâmica de regulação microbiana de carbono pelos sistemas agrícolas.

PALAVRAS-CHAVE: Cerrado Meridional Maranhense, Microrganismos, Solos, Diversidade.

EFFECTS OF AGRICULTURAL ACTIVITIES ON MICROBIAL ACTIVITY IN RHIZOSPHERIC SOILS OF MERIDIONAL CERRADO MARANHENSE

ABSTRACT: The soils of meridional cerrado of maranhense out for their productive agricultural potential, since agricultural activities are favorable due to the climatic and topographical conditions of the region. This study evaluated the effects of agricultural activities on microbial activity and density in soils collected in the municipalities of Senador Edson Lobão and Balsas (MA), at a depth of 0 to 20 cm under different conditions of agricultural practices. The results showed that the bacterial community had a greater population in soils with soybean, bean, cassava and virgin cultivation (3.000 to 22.000 CFU g^{-1} of soil), and cassava, virgin and soy for fungi (9.100 to 25.000 CFU g^{-1} of soil). The microbial respiration rates showed variations from 0.275 to 0.055 μ C-CO_2 g^{-1} of soil, with higher values in soils cultivated with soybeans, cassava, beans, native and burned. Thus, this study provided an important step towards understanding the dynamics of microbial carbon regulation by agricultural systems.
KEYWORDS: Meridional Cerrado of Maranhense, Microorganisms, Soils, Diversity.

1 | INTRODUÇÃO

O cerrado é um dos principais biomas maranhenses, que vem sofrendo com o aumento da expansão das atividades agrícolas de alto valor econômico, devido à substituição da vegetação nativa por monoculturas de algodão, feijão, milho e soja. No entanto, a monocultura, bem como as práticas inadequadas de cultivo, tem acelerado os processos de degradação do solo com impactos ambientais adversos nos atributos físicos, químicos e biológicos (Soterroni *et al*., 2019; Sales; Oliveira Neto, 2020).

Os microrganismos do solo desempenham papéis fundamentais na manutenção da biodiversidade terrestre e dos processos ecossistêmicos, como conversão de nutrientes, ciclagem biogeoquímica, decomposição de matéria orgânica, fluxos de energia e influenciam na produtividade do ecossistema (Chu *et al*., 2020; He et al., 2023; Joshi; Garkoti, 2023).

O conhecimento sobre a dinâmica dos microbiomas na qualidade do solo do bioma cerrado ainda não são compreendidas, sendo uma necessidade a busca de bioindicadores que avaliem com mais eficiência, os possíveis impactos sobre a composição e funcionamento da microbiota, indicando estratégias adequadas de conservação e manejo (Jurburg; Salles 2015; Silva *et al*., 2021a).

Os indicadores mais comumente utilizados para avaliar a atividade microbiana do solo, são respiração microbiana (RM), carbono da biomassa microbiana (CBM), quociente metabólico ($_qCO_2$) e quociente microbiano ($_q$MIC). A RM consiste na liberação de C-CO_2 pelos microrganismos, nos seus processos metabólicos, CBM refere-se à imobilização temporária do elemento na biomassa viva do microrganismo). O $_qCO_2$ informa quanto de C é perdido por meio do efluxo de CO_2 para incorporar uma unidade de C na biomassa microbiana e $_q$MIC representa a relação entre o CBM/COT utilizada como indicador da

qualidade da matéria orgânica do solo, demonstrando a eficiência dos microrganismos na utilização dos compostos orgânicos (Araújo Neto *et al*., 2014; Dadalto *et al*., 2015; Braga *et al*., 2016; Santos *et al*., 2019; Souza, 2021; Mason-Jones *et al*., 2021; Silva *et al*., 2021b; Yang *et al*., 2023).

Com isso, o presente trabalho visa avaliar a atividade e biomassa microbiana em solos dos municípios de Senador Edson Lobão e Balsas (MA), com diferentes práticas agrícolas.

2 | METODOLOGIA

Coleta das amostras de solos

As amostras de solos foram coletadas nos municípios de Senador Edson Lobão e Balsas (MA), situados no Cerrado Meridional Maranhense, sob diferentes condições de manejo e práticas agrícolas, como mostra a Tabela 1.

Local de Coleta	Práticas Agrícolas
Balsas (MA)	Solo com cultivo de soja
Governador Edson Lobão (MA)	Solo nativo (virgem)
	Solo com cultivo de arroz, capim, feijão, mandioca e milho
	Solo com uso frequente de queimadas

Tabela 1. Local de coleta das amostras de solos.

Fonte: Autores (2022).

Em cada área foram coletadas 12 subamostras, com auxílio de trado holandês, na profundidade de 0 a 20 cm, os pontos arranjados em dois círculos concêntricos ao redor de um único monólito, tamanho de 3 a 6 m de raio, a partir do monólito. Cada conjunto de 12 subamostras foi misturado para formar uma amostra composta de aproximadamente 500 g. Após a coleta, os solos foram peneirados (malha de 2 mm), acondicionados em sacos plásticos e mantidos à temperatura de 4 ± 0,1 °C, até o momento das análises microbiológicas (Moreira *et al.,* 2010).

Atividade microbiana do solo

A quantificação das bactérias e fungos totais cultiváveis foi determinada utilizando a técnica de plaqueamento por meio de Unidades Formadoras de Colônias (UFC) por grama de solo, utilizando o método de inoculação de suspensões diluídas de solo em meios de cultura específicos, com 3 repetições por diluição (Ramos *et al*., 2018; Alves; Orlanda, 2013).

O método utiliza 1 g de solo para 9 mL de solução salina (NaCl 0,85%),

mantidas sob agitação durante 3 minutos e, submetidas a diluições seriadas até 10^{-5}. Em seguida, foram retiradas 100 μL da solução para o semeio com auxílio de alça de Drigalsky em placas de Petri contendo meio de cultura sólido *Plate Count Agar* – PCA (bactérias) e Sabouraud Dextrose 4% (fungos), em triplicatas.

As placas foram incubadas durante 48 h a 28 ± 1 °C (bactérias) e 168 h a 30 ± 1 °C (fungos). Após o período de incubação, os números de colônias contadas foram multiplicados pela diluição correspondente e o resultado expresso em unidades formadoras de colônias - UFC por grama de solo (UFC g^{-1}).

Atributos microbiológicos do solo

O teor de carbono da biomassa microbiana foi determinado após o tratamento do solo em estudo com irradiação por micro-ondas e fumigação, conforme metodologia de Ferreira et al. (1999) e Vance et al. (1987), respectivamente. O carbono extraído do solo foi calculado pela Equação 1:

$$C\ (mg\ Kg^{-1}) = \frac{(V_a - V_b) \times M \times 0{,}003 \times V_1 \times 10^6}{P_s \times V_2} \qquad \text{(Equação 1)}$$

Onde: C = carbono extraído do solo; V_b (mL) = volume do sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da solução controle (branco); V_a (mL) = volume gasto na titulação da amostra; M = Molaridade da solução de sulfato ferroso amoniacal; V_1 = Volume do extrator K_2SO_4; V_2 = Alíquota do extrato da titulação; Ps (g) = massa de solo seco.

A estimativa da biomassa microbiana (BMC-C) é dada pela Equação 2:

$$BMC\text{ - }C\ (mg\ kg^{-1} = F_c \text{ x } kc^{-1} \qquad \text{(Equação 2)}$$

Onde: BMS-C= biomassa de carbono microbiano do solo em mg de C por kg de solo (ou μg g^{-1}); F_C = fluxo obtido da diferença entre a quantidade de C (mg kg^{-1}) recuperada no extrato da amostra fumigada e a recuperada na amostra não fumigada; kc = 0,33 - fator de correção proposta por Sparling e West (988).

A taxa de respiração microbiana (RBM) do solo foi avaliada em sistemas fechados de captura de dióxido de carbono (CO_2). O sistema é composto de um pote de vidro com capacidade de 1 kg hermeticamente fechado, contendo 20 mL de água livre de CO_2, béquer de 50 mL contendo 30 g de solo e outro de 50 mL com 15 mL de solução de NaOH 0,05 moL L^{-1}. O hidróxido de sódio de cada sistema foi retirado e titulado com HCl moL L^{-1} após 24 horas de incubação (Anderson; Komsch, 1993). A emissão de CO_2 foi calculada pela Equação 3:

$$mg\ CO_2 = (B\text{ - }V) \text{ x } (M\text{ - }E) \qquad \text{(Equação 3)}$$

Em que: mg CO_2 = representa a quantidade de CO_2 emitida pelo solo no sistema; B = a quantidade média de CO_2 capturada no controle; M = molaridade da solução de ácido clorídrico; E = Peso equivalente do carbono na molécula de CO_2, cujo valor é 22.

3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

O conhecimento do equilíbrio dinâmico e dos efeitos das práticas agrícolas sobre as populações na comunidade microbiana é importante, dadas às inúmeras funções que esses microrganismos desempenham no solo. Na Tabela 1, observa-se que o número de unidades formadoras de colônias por grama de solos foi diversificados nas diferentes amostras analisadas, obtendo variações de 3.000 a 22.000, e 3.700 a 22.000 UFC g^{-1} de solo para bactérias e fungos totais, respectivamente.

Amostras de Solos	Análise Microbiológica (UFC g^{-1} de solo)	
	Bactérias Totais	Fungos Totais
Arroz	3.000	3.700
Capim	12.400	5.000
Feijão	13.800	14.100
Mandioca	9.800	16.800
Milho	8.800	9.100
Queimadas	10.000	8.000
Soja	22.000	25.000
Virgem	10.700	13.400

Tabela 1. Análise da população microbiana em amostras de solos agrícolas do Cerrado Meridional Maranhense.

Fonte: Autores (2022).

Os resultados apresentados na Tabela 1, mostram uma tendência da comunidade bacteriana com maior população em solos com cultivo de soja, feijão, virgem e mandioca, com variação de 3.000 a 22.000 a UFC g^{-1} de solo. A população fúngica mostrou-se bem maior que o número de bactérias totais presentes nos solos cultivados com mandioca, virgem e soja (9.100 a 25.000 UFC g^{-1} de solo).

Segundo Primavesi (2002), os fungos nessas condições de manejo do solo são ávidos por açúcares e não apreciam muito os aminoácidos excretados por estes vegetais. Dessa forma, constatou-se que esses fatores associados ao tipo de exploração agrícola, podem ocasionar alterações qualitativas e quantitativas das populações microbianas do solo e na sua atividade.

O solo não cultivado (virgem), apesar de possuir valores altos de UFC g^{-1} em relação ao cultivo de arroz, milho, mandioca e queimadas, apresentou menor quantidade quando

comparados com feijão e soja (Tabela 1). Dessa forma, podemos utilizar esse tipo de solo como parâmetro de comparação ao desequilíbrio da comunidade microbiana nas diferentes amostras provocadas pelos diferentes manejos.

Em relação, a taxa de respiração da biomassa microbiana avaliada pelo método de evolução de CO_2 durante a oxidação de compostos orgânicos, apresentam variações de 0,055 a 0,275 μ C-CO_2 g^{-1} de solo (Figura 1). Os valores permitem verificar que a respiração da biomassa microbiana atingiu maiores valores nos solos cultivados com soja, mandioca, feijão, virgem e queimadas antes do plantio. A respiração microbiana atingiu menores valores nos solos cultivados com capim, arroz e milho. Esses resultados indicam maior atividade microbiana em solos com cultivo de soja e mandioca, provavelmente, em virtude da maior decomposição da matéria orgânica e reserva de nutrientes que são maiores nesses solos.

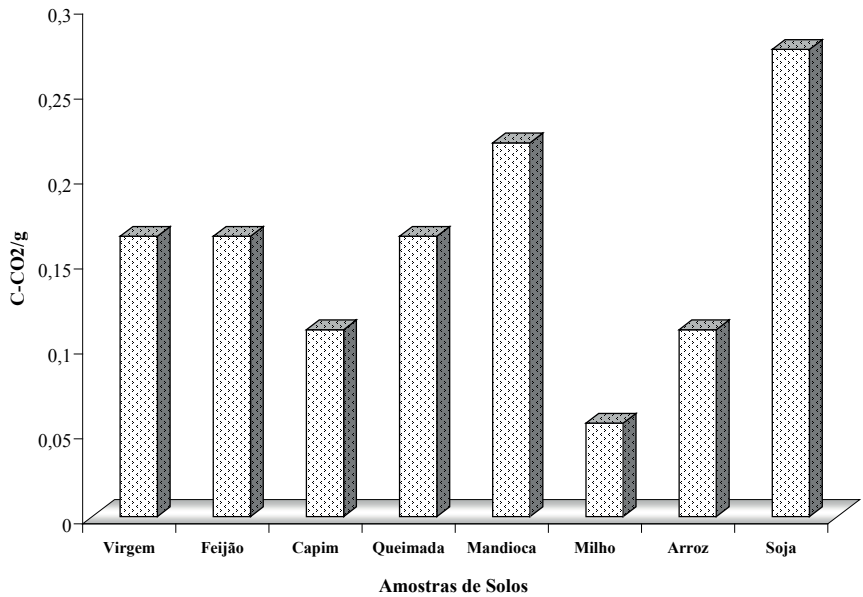


Figura 1. Taxa de respiração microbiana dos solos em estudo.

Fonte: Autores (2022).

As avaliações da respiração microbiana em laboratório têm a vantagem de eliminar organismos da mesofauna e partes da planta que poderiam mascarar as avaliações (Kelting *et al*., 1998). Além disso, a temperatura e a umidade podem ser facilmente controladas, o que permite, inclusive, simulações. No entanto, quando amostras de solo são levadas ao laboratório, o grau de manipulação influencia a estrutura do solo e as trocas gasosas.

No campo, as mensurações da respiração do solo consideram a serapilheira e são

amplamente usadas para avaliar a atividade geral da biomassa no solo, sob a influência do clima, das propriedades físicas e químicas e de práticas agrícolas ou silviculturas, como rotação de culturas (Paul *et al.*, 1999), adição de matéria orgânica ou cobertura morta (Schroth et al., 1992), plantio direto, cultivo mínimo (Gunalapa; Scow, 1998), idade do povoamento, tipo de solo e espécies de árvores (Bauhus *et al.*, 1998), mistura de espécies e presença de animais e excrementos no solo (Bardget *et al.*, 1998), que normalmente aumentam a biomassa e a atividade da microbiota do solo.

Na Tabela 3, são apresentados os valores da atividade da biomassa microbiana (BMS).

Amostras de Solos	Biomassa Microbiana (mg kg^{-1})
Arroz	2,72
Capim	5,45
Feijão	4,24
Mandioca	ND
Milho	3,03
Queimadas	ND
Soja	5,15
Virgem	ND

ND = Não detectado

Tabela 3. Análise da biomassa microbiana em solos com diferentes tipos de práticas agrícolas.

Fonte: Autores (2022).

Os resultados das atividades microbianas (Tabela 1) e as taxas de respiração (C-CO_2) do solo (Figura 1), indicaram maior diversidade de microrganismos nas culturas de soja, feijão e mandioca. No entanto, a análise da biomassa microbiana descrita na Tabela 3, demonstrou que o solo com plantio de capim, soja, feijão, milho e arroz apresentaram maiores valores de BMS.

Estes resultados podem parecer equivocados, quando se esperava uma maior BMS em solos com cultivo de soja e feijão. Porém, isto se explica pelo fato de que as análises, em geral, a precisão não é alta, e que conforme a condição de armazenagem e processamento da amostra, modificações mensuráveis podem ocorrer e interferir no resultado final (De-Polli; Guerra, 1997).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos pode-se verificar que a comunidade bacteriana apresentou maior população em solos com cultivo de soja, feijão, mandioca e virgem (3.000 a 22.000 a UFC g^{-1} de solo), e mandioca, virgem e soja para fungos (9.100 a 25.000 UFC

g^{-1} de solo).

As taxas de respiração microbiana mostraram variações de 0,275 a 0,055 μ C-CO_2 g^{-1} de solo, com maiores valores nos solos cultivados com soja, mandioca, feijão, nativo e queimadas.

Dessa forma, os resultados deste estudo fornecem um importante passo para o entendimento da dinâmica de regulação microbiana de carbono pelos sistemas agrícolas.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA) pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS

ALVES, É. W. de S.; ORLANDA, J. F. F. Screening de fungos rizosféricos com capacidade de degradação do herbicida atrazina. **Arquivo Brasileiro de Microbiologia Básica e Aplicada**, São Cristovão, v. 1, n. 2, p. 1-9, 2013.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO_2 (qCO_2) as a specific activiy parameter to assess the efect of environmental condition, such as pH on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 23, n. 3, p. 393-395, 1993.

ARAÚJO NETO, S. E. de; SILVA, A. N. da; KUSDRA, J. F.; KOLLN, F. T.; ANDRADE NETO, R. de C. Atividade biológica de solo sob cultivo múltiplo de maracujá, abacaxi, milho, mandioca e plantas de cobertura. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 45, n. 4, p. 650-658, 2014.

BARDGETT, R. D.; KEILLER, S.; COOK, R.; GILBURN, A. S. Dynamics interactions between soil animals and microorganisms in upland grassland soils amended with sheep dung: a microcosm experiment. **Soil Biology & Biochemistry**, United Kingdom, v. 30, n. 4, p. 531-539, 1998.

BAUHUS, J.; PARÉ, D.; CÔTÉ, L. Effects of tree species, stand age and soil type on soil microbial biomass and its activity in a Southern Boreal Forest. **Soil Biology and Biochemistry**, United Kingdom, v. 30, n. 8, p. 1077-1089, 1998.

BRAGA, R. M.; SOUSA, F. F. de; VENTURIN, N.; BRAGA, F. de A. Biomassa e atividade microbiana sob diferentes coberturas florestais. **CERNE**, Lavras, v. 22, n. 2, p. 137-144, 2016.

CHU, H.Y.; GAO, G.F.; MA, Y.; FAN, K.; DELGADO-BAQUERIZO, M. Soil microbial biogeography in a changing world: recent advances and future perspectives. **mSystems 5**, United States, v. 5, n. 2, p.1-12, 2020.

DADALTO, J. P.; FERNANDES, H. C.; TEIXEIRA, M. M.; CECON, P. R.; MATOS, A. T. de. Sistema de preparo do solo e sua influência na atividade microbiana. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, n. 3, p. 506-513, 2015.

DE-POLLI, H.; GERRA, J. G. M. Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo: Método da fumigação- extração. **Seropédica: Embrapa-CNPAB**, 1997. 10 p. (Embrapa-CNPAB. Documentos, 37).

FERREIRA, A. S.; CAMARGO, F. A. O.; VIDOR, C. utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciências de Solos**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 991-996, 1999.

GUNALAPA, N.; SCOW, K. M. Dynamics of soil microbial biomass and activity in conservation and organic farming systems. **Soil Biology and Biochemistry**, United Kingdom, v. 30, n. 6, p. 808-816, 1998.

HE, L.; SUN, X.; LI, S.; ZHOU, W.; CHEN, Z.; BAI, X. The vertical distribution and control factor of microbial biomass and bacterial community at macroecological scales. **Science of the Total Environment**, v. 869, n. 1, p. 1-10, 2023.

JOSHI, R. Kr; GARKOTI, S. C. Influence of vegetation types on soil physical and chemical properties, microbial biomass and stoichiometry in the central Himalaya. **Catena**, Netherlands, v. 222, n. 1, p. 1-11, 2023.

JURBURG, S. D; SALLES, J. F. Functional redundancy and ecosystem function - The soil microbiota as a case study. *In:* LO, Y.H et al. **Biodiversity in ecosystems - linking structure and function**. 1. ed. Rijeka: Intech. 2015. p. 29-49.

KELTING, D. L.; BURGER, J. A.; EDWARDS, G. S. Estimation root respiration, microbial respiration in rhizosphere, and root-free soil respiration in forest soils. **Soil Biology & Biochemistry**, United Kingdom, v. 30, n. 7, p. 961-968, 1998.

MASON-JONES, K.; ROBINSON, S. L.; VEEN, G. F. (Ciska); MANZONI, S.; PUTTEN, W. H. van der. Microbial storage and its implications for soil ecology. **ISME Journal**: Multidisciplinary Journal of Microbial Ecology, [s.l], v. 16, n. 1, p. 617-629, 2021.

MOREIRA, F. M. S.; HUISING, E. J.; BIGNELL, D. E. **Manual de biologia dos solos tropicais: amostragem e caracterização da biodiversidade**. 1. ed. Lavras: UFLA. 2010. 368 p.

PAUL. E. A; HARRIS, D.; COLLINS, H. P; SCHULTHESS, U.; ROBERTSON, G.P. Evolution of CO_2 and soil carbon dynamics in biologically managed, row-crop agroecosystems. **Applied Soil Ecology**, Netherlands, v. 11, n. 1, p. 53-65, 1999.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo.** 1. ed. Editora Nobel. São Paulo, 2002.

RAMOS, R. F.; SOBUCKI, L.; ROHRIG, B.; LUDWIG, J.; DAROIT, D. J. Diversidade funcional de bactérias isoladas de solos rizosférico e não rizosférico em cultura de milho. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 17, n. 3, p. 147-427, 2018

SALES, D. P.; OLIVEIRA NETO, F. M. Análise da distribuição das queimadas no cerrado maranhense, Brasil (2014-2018). **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, Curitiba, v. 9, n. 18, p. 17-31, 2020.

SANTOS, M. O. D.; BARRETO-GARCIA, P. A. B.; GAMA-RODRIGUES, E. F. Microbial biomass as an edge effect indicator in semi-deciduous seasonal forest fragments. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 26, n. 4, p. 1-9, 2019.

SCHROTH, G.; ZECH, W.; HEIMANN, G. Mulch decomposition under agroforesty conditions in a sub-humid tropical savanna process and influence of perennial plants. **Plant and soil**, Netherlands, v. 147, p. 1-11, 1992.

SILVA, J. do N.; MENDES, L. W.; ANTUNES, J. E. L.; MELO, V. M. M.; OLIVEIRA, F. A. da S.; LOPES, A. C. de A.; SILVA, V. B. da; PEREIRA, A. P. de A.; VALENTE, S. E. S.; ARAUJO, A. S. F. Diversity, structure, and composition of plant growth-promoting bacteria in soil from Brazilian Cerrado. **Rhizosphere**, Netherlands, v.20, n. 1, p. 1-7, 2021a.

SILVA, M. de O.; SANTOS, M. P. dos; SOUSA, A. C. da P.; SILVA, R. L. V. da; MOURA, I. A. A. de; SILVA, R. S. da; COSTA, K. D. da S. Qualidade do solo: indicadores biológicos para um manejo sustentável. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.7, n.1, p. 6853-6875, 2021b.

SOTERRONI, A. C.; RAMOS, F. M.; MOSNIER, A.; FARGIONE, J.; ANDRADE, P. R.; BAUMGARTEN, P. R.; PIRKER, J.; OBERSTEINER, M.; KRAXNE, F.; CÂMARA, G.; CARVALHO, A. X. Y.; POLASKY, S. Expanding the soy moratorium to Brazil's cerrado. **Science Advances**, United States, v. 5, n. 7, p. 1-20, 2019.

SOUZA, A. G. V. **Efeito de borda em ecossistemas nativos e plantações de eucalipto sobre dinâmica do carbono no solo**. 2021. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual de Goiás, Unidade Universitária de Ipameri, Ipameri, 2021.

SPARLING, G. P.; WEST, A. W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: calibration in situ using microbial respiration and 14C labelled cells. **Soil Biology and Biochemistry**, United Kingdom, v. 20, n. 3, p. 337-343, 1988.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, United Kingdom, v. 19, p. 703-707, 1987.

YANG, X.; CHENG, J.; FRANKS, A. E.; HUANG, X.; YAHNG, Q.; CHENG, Z.; LIU, Y.; MA, Bin, XU, J.; HE, Y. Loss of microbial diversity weakens specific soil functions, but increases soil ecosystem stability. **Soil biology and biochemistry**, United Kingdom, v. 177, n. 1, p. 1-11, 2023.

CAPÍTULO 18

CONTAMINAÇÃO POR METAIS PESADOS: EFEITOS NA PLANTA E FITORREMEIDAÇÃO

Data de aceite: 01/09/2023

Geórgia Peixoto Bechara Mothé
Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, CCT- Campos dos Goytacazes – Rio de Janeiro
https://orcid.org/0000-0002-6312-4751

Guilherme Augusto Rodrigues de Souza
Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, CCTA Campos dos Goytacazes – Rio de Janeiro
https://orcid.org/0000-0001-8836-1203

Weverton Pereira Rodrigues
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, CCANL Estreito - Maranhão
https://orcid.org/0000-0002-9137-474X

Eliemar Campostrini
Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, CCTA Campos dos Goytacazes – Rio de Janeiro
https://orcid.org/0000-0002-1329-1084

Allison Bezerra Oliveira
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão UEMASUL Imperatriz – Maranhão
http://orcid.org/0000-0003-0320-5661

RESUMO: O processo de industrialização ocorreu acompanhado do aumento do uso de recursos naturais neste processo, muitos dos quais são obtidos através de técnicas de mineração. Tanto o processo de industrialização quanto de mineração são alguns dos responsáveis pela crescente degradação ambiental observada nas últimas décadas, inclusive no estado do Maranhão, pois grande parte dos resíduos gerados nestes setores são descartados incorretamente gerando a contaminação e poluição do meio ambiente (solo, água, ar, etc.). Na indústria de minério de ferro, a deposição de materiais particulados pode resultar na contaminação no solo com metais pesados, dentre eles o Fe. Apesar de ser caracterizado como um micronutriente importante para as plantas, em concentrações muito altas o Fe pode resultar na contaminação e toxidez das plantas. Nestes casos, em que as concentrações de Fe e demais metais pesados no solo geram danos ao ambiente, é importante o uso de técnicas de mitigação de danos, a exemplo da fitorremediação. Para isso, é importante a seleção das melhores técnicas e do tipo de vegetação ideal para que o processo de fitorremediação seja eficiente e capaz de mitigar possíveis danos decorrentes da

mineração e indústria de ferro.
PALAVRAS-CHAVE: Metais pesados; mineração; fitorremediação.

HEAVY METALS CONTAMINATION: EFFECTS ON THE PLANT AND PHYTOREMEDIATION

ABSTRACT: The industrialization process was followed by an increase in the use of natural resources in this process, many of which are obtained through mining techniques. Both the industrialization and mining processes are some of those responsible for the increasing environmental degradation observed in recent decades, including in the state of Maranhão, as a large part of the waste generated in these sectors is incorrectly disposed of, generating contamination and pollution of the environment (soil, water, air, etc.). In the iron ore industry, the deposition of particulate matter can result in soil contamination with heavy metals, including Fe. Despite being characterized as an important micronutrient for plants, in very high concentrations Fe can result in contamination and toxicity of plants. In these cases, in which the concentrations of Fe and other heavy metals in the soil cause damage to the environment, it is important to use damage mitigation techniques, such as phytoremediation. For this, it is important to select the best techniques and the ideal type of vegetation so that the phytoremediation process is efficient and capable of mitigating possible damages resulting from mining and iron industry.
KEYWORDS: Heavy metals; mining; phytoremediation.

1 | INTRODUÇÃO

O crescente processo de industrialização que se estende desde meados do século XVIII até os dias atuais, apesar de suprir importantes demandas socioeconômicas, é tido como um dos principais responsáveis pela intensa degradação ambiental observada nas últimas décadas. Isso, porque a transformação de matérias-primas em bens manufaturados acarreta a produção de muitas substâncias orgânicas e inorgânicas indesejáveis, e muitas vezes tóxicas ao meio ambiente, que são descartadas incorretamente no solo, na água e/ou no ar, resultando na contaminação e poluição ambiental (Sumaira; Siddique, 2023)

A mineração ou extração de recursos de fontes naturais foi impulsionado pelo processo de industrialização e se consolidou como uma das atividades antrópicas que mais contribui para o processo de degradação ambiental, como tem sido observado no estado do Maranhão. O avanço deste setor e das práticas de produção e extração de minério de ferro, em especial, tem resultado em impactos diretos e indiretos pela emissão de diversos poluentes atmosféricos, entre eles os materiais sólidos particulados (MP). Estes MP's, além de gerar danos à saúde humana, podem comprometer a sobrevivência de espécies vegetais sensíveis a este nutriente mineral (Silva *et al.*, 2006; Neves *et al.*, 2009).

O material particulado (MP) está diretamente relacionado com o minério explorado, e os principais agentes poluentes encontrados na indústria de mineração de ferro são o pó de minério de ferro, um material particulado sólido (MSP_{Fe}), e o dióxido de enxofre

(SO_2), um material particulado gasoso emitido principalmente em atividades de combustão, transformando-se em partículas como resultado de reações químicas no ar (Lopes *et al.,* 2000). O dióxido de enxofre pode reagir com a água na atmosfera, e formar o ácido sulfúrico, o que pode ser depositado por meio da chuva ácida sobre a superfície dos vegetais. Os efeitos da chuva ácida somados à deposição de MSP_{Fe} sobre a vegetação possuem um efeito sinérgico, em que um potencializa o efeito do outro, levando às comunidades vegetais a uma nova situação antrópica de distúrbio (Kuki *et al*., 2008).

Nos últimos anos, houve uma grande preocupação com o meio ambiente, e os possíveis impactos negativos provocados com a emissão de poluentes no solo. Na busca de alternativas para recuperar as áreas contaminadas por diversos compostos orgânicos e inorgânicos, tem-se optado por soluções que englobam eficiência na descontaminação, simplicidade na execução, tempo demandado pelo processo e menor custo. Estas alternativas de recuperação podem ser feitas por meio de vários métodos, tais como escavação, incineração, extração com solvente, oxirredução e outros que são bastante dispendiosos (Cunningham *et al*., 1996). Alguns processos deslocam a matéria contaminada para local distante, causando riscos de contaminação secundária e aumentando ainda mais os custos com tratamento (Costa; Chaves, 2010). Portanto, métodos *in situ* são preferíveis, uma vez que, garantem menor perturbação ambiental e menores custos de implementação.

Entre os métodos de recuperação *in situ,* alguns dos processos de remediação são tidos como importantes, e consistem na melhoria ou recuperação de solos contaminados de forma natural, física, química e biológica, reduzindo a carga de contaminante, a concentração, a mobilidade ou a toxicidade deste contaminante em um determinado local (Sánchez-Castro *et al*., 2023).

Uma estratégia na recuperação de áreas contaminadas com metais pesados é a fitorremediação, que visa indicar espécies promissoras para o processo de revegetação de áreas degradadas. Além disso, ela é caracterizada como uma tecnologia barata, com capacidade de atender uma maior demanda, e que apresenta um maior potencial de desenvolvimento (Yan *et al.,* 2020).

Um dos requisitos básicos para o sucesso de qualquer técnica de revegetação é a seleção de plantas tolerantes aos contaminantes. Além da extração de metais biodisponíveis no solo, a introdução de plantas em área contaminada melhora o aporte de material orgânico, aumenta a quantidade de raízes que contribuem para melhorar a estrutura, atenua processos erosivos e melhora o *habitat* para os microrganismos do solo (Khan *et al*., 2000).

2 | CONTAMINAÇÃO DO SOLO

O solo é constituído por minerais e poros preenchidos por água e ar, além de matéria orgânica e organismos, e é caracterizado como um sistema capaz de sustentar a vida das

plantas na superfície da terra. A fração sólida do solo produtivo típico está formada por aproximadamente 5% de matéria orgânica, e 95% de matéria inorgânica. Quanto maior a quantidade de biomassa do solo, maior será o estoque de nutrientes, por meio do acúmulo de células microbianas, devido à degradação das células por morte ou predação (Araújo; Melo, 2010).

O solo é constituído por componentes minerais e orgânicos, e a composição é extremamente diversa, e heterogênea. Os principais elementos metálicos encontrados com maior frequência no solo são o Cu, Fe, Mn, Mo, Zn, Co, Ni, V, Al, Ag, Cd, Cr, Hg e Pb (WU *et al*., 2021). Em virtude dessa relação, pode-se relatar que o solo pode ser considerado não-contaminado quando a concentração de um elemento ou substância de interesse ambiental é menor ou igual ao valor de ocorrência natural. Da mesma forma, pode-se dizer que quando esse elemento está em maior grau de concentração do que a ocorrência natural, este solo pode ser considerado contaminado. Assim, um solo contaminado é definido como um local cujo solo foi submetido a um dano ambiental significativo, que o impede de assumir as funções naturais ou legalmente garantidas (CETESB, 2005).

Os termos poluição e contaminação podem ser confundidos em função do uso no dia a dia, mas na área científica, estes termos são distintos. O termo contaminação é utilizado para designar uma substância química em uma amostra, sem que ela cause algum dano; já o termo poluição, é usado nos casos em que a presença da substância é danosa (Crathorne *et al*., 1996).

Os poluentes ambientais podem ser definidos como substâncias químicas naturais ou sintéticas, que ao serem liberadas no ambiente apresentam efeitos indesejáveis aos seres vivos e ao equilíbrio dos ecossistemas (Appannagari, 2017). Dentre os diversos tipos de poluentes orgânicos, podem ser citados os inseticidas, os fungicidas e os herbicidas. Com relação os poluentes inorgânicos, neste grupo estão inseridos os metais como zinco, cádmio, mercúrio, cobre, alumínio, ferro e compostos como cianetos, sulfetos e material sólido particulado, entre vários outros (Kurwadkar *et al*., 2020).

Por meio da intensificação das atividades industriais, agrícolas e de urbanização, a contaminação do solo com metais pesados é um problema crescente e responsável por sérios impactos ao ambiente. Uma das atividades que mais contribuem para a poluição do solo com esses agentes é a atividade de mineração e a indústria metalúrgica (Terrones-Saeta *et al*., 2021). Nestes locais, a concentração desses elementos pode atingir valores tóxicos às plantas, ao solo e aos organismos do solo.

A atividade mineradora, quando comparada a outras fontes de degradação do ambiente, como a agricultura e a pecuária, afeta diretamente pequenas áreas. Contudo, os elementos solubilizados de rejeitos, se atingirem os cursos d'água, podem impactar negativamente as áreas localizadas a centenas de quilômetros da mineração (Artiola *et al*., 2019). O solo contaminado acaba afetando as plantações, e os vegetais absorvem essas substâncias, que podem ser ingeridas pelos humanos e por outros animais. A extração de

ferro, por exemplo, e sua entrada na superfície e nos solos, decorrente das perdas durante os processos de mineração e industrialização do minério resulta no aumento do conteúdo de ferro na camada superficial dos solos, fazendo com que quantidades significativas de elementos contaminantes tornem-se tóxicas ao desenvolvimento vegetal (Zamotaev *et a*l., 2017).

3 I EFEITOS POSITIVOS DO Fe NA PLANTA

As plantas necessitam do nutriente mineral ferro (Fe) intracelular como catalisador para a síntese da clorofila, o qual está presente em uma série de enzimas fundamentais (Kroh; Pilon, 2020). A alta afinidade do Fe para formar complexos com vários ligantes (por exemplo, ácidos orgânicos e fosfatos) e a capacidade em alterar a valência são as duas características importantes que formam a base dos numerosos efeitos fisiológicos deste nutriente (Rai *et al.,* 2021). O Ferro pode estar disponível em duas formas de oxidação, a férrica (Fe^{2+}) e ferrosa (Fe^{3+}), e é um micronutriente importante para as plantas (Rai *et al*., 2021)

O Fe é transportado via xilema até a parte aérea da planta. Quando incorporado nos cloroplastos, a translocação do Fe tem mobilidade bastante limitada, o que está de acordo com a observação de que os sintomas de deficiência deste micronutriente são restritos às brotações jovens. Entretanto, durante a senescência das folhas, há relatos de que o Fe pode ser translocado através do floema (Schmidt, 2003).

O Ferro tem importante função no metabolismo das plantas, como a capacidade de transferir elétrons, uma vez que este nutriente é reversivelmente oxidado de Fe^{+2} a Fe^{+3} (KROHLING *et al*., 2016). O Fe é o componente de uma série de enzimas, a maioria das quais, participam de reações de oxirredução no metabolismo, e é essencial para a síntese de clorofila. As funções do ferro nos vegetais estão associadas ao crescimento a produtividade, fotossíntese, respiração, assimilação de nitrogênio e enxofre e na fixação biológica do nitrogênio (Krohling *et al*., 2016). No metabolismo vegetal, o ferro está envolvido na fotossíntese, respiração mitocondrial, assimilação do nitrogênio, biossíntese hormonal (etileno, ácido giberélico e ácido jasmônico), produção e sequestro de espécies reativas de oxigênio e proteção contra patógenos (Krohling *et al*., 2016).

Uma forma do Fe ser absorvido pela planta é por meio do material particulado depositado no solo, e sob determinadas concentrações pode ser benéfico ou até mesmo desencadear toxidez às plantas. O material sólido particulado de ferro (MSP_{Fe}) afeta as plantas, tanto por mecanismos físicos, como alterar o balanço de radiação, causar abrasão e aquecimento foliar, e prejudicar o controle estomático; ou por mecanismos químicos associados a lixiviação de nutrientes das folhas, alteração de pH, comprometendo assim o estado nutricional, e a microflora do solo (Grantz *et. al.,* 2003).

4 | TOXICIDADE E ESTRESSE POR EXCESSO DE Fe NA PLANTA

Na planta, a toxicidade produzida por um metal vai depender da concentração do elemento no solo. Desta forma, a planta terá diferentes respostas ao mesmo metal. Há muitos graus de resistência à toxicidade dos metais como os mecanismos fisiológicos, a amplitude e a distribuição das espécies, e inclusive variedades e tipos dentro de uma mesma espécie (Barceló; Poschenrieder, 1992).

Frequentemente, a toxicidade das plantas ao ferro é encontrada nos solos que possuem pH muito baixo ou em solos com drenagem deficiente (Lapaz *et al*., 2022). No solo, o excesso de ferro pode interferir na adsorção de manganês, zinco, cobre, fósforo, cobalto e cálcio (Schmidt, 2003), além de potencializar o estresse oxidativo, aumentando a produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) (Lapaz *et al*., 2022). As EROs podem ser altamente destrutivas, levando a severas lesões nos componentes celulares e a uma diversidade de alterações morfológicas, bioquímicas e fisiológicas (Huang *et. al.,* 2019), como exemplo as alterações na fotossíntese, a inibição do crescimento, e a diminuição da concentração de clorofila (Lapaz *et al*., 2022).

Algumas plantas possuem a capacidade de adaptar-se às condições adversas à sua sobrevivência, adquirindo mecanismos de tolerância. Uma maneira diferente que a planta tem de evitar a toxicidade é armazená-lo na forma de proteína ferritina (Connolly; Guerinot, 2002). Os estudos com espécies vegetais têm mostrado as plasticidades fisiológicas e anatômicas em função das condições ambientais de cultivo.

Os principais sintomas de toxidez por excesso de ferro são o bronzeamento das folhas, inicialmente as mais velhas, e a deposição de pigmentos marrons, podendo levar o retardo do crescimento, a baixa produtividade, e em casos mais severos, morte da planta (Lapaz *et al*., 2022). A depender da espécie estudada, podem existir diferentes respostas as condições estressantes do acúmulo de ferro na planta (Adamski, 2011).

O ambiente poluído com material particulado pode alterar a fisiologia e a estrutura anatômica de folhas. As diferenças podem ocorrer na área foliar, peso seco, densidade estomática, área foliar específica, espessura do mesofilo e no teor de clorofila (Bujokas, 2001). Além disso, o MSP_{Fe} pode causar perdas em propriedades funcionais como a fotossíntese, a redução de biomassa, a reprodução e, em um grau mais severo de risco ambiental, podem interferir na distribuição de espécies numa determinada área, e consequentemente, na sucessão ecológica (Oliveira *et al*., 2007).

Em função do intemperismo, o acúmulo do MSP_{Fe} no solo por meio do processo de percolação passa a ser um local para acondicionamento desses resíduos, tornando esse solo com altas concentrações de ferro em um solo contaminado. Isto é um sério problema para o crescimento de plantas, pois por mais que a fonte poluidora esteja distante, num raio de 40 km, as espécies vegetais podem apresentar necroses pontuais e aspectos cloróticos, e deposição do MSP_{Fe} na superfície foliar (Oliveira *et al.,* 2007). Por isso, o cultivo de

espécies tolerantes é importante nestas situações.

As adaptações das plantas aos ambientes poluídos mais descritas na literatura se referem às modificações que ocorrem nas folhas, pois este órgão é de rápido crescimento e renovação constante. Como consequência adaptativa, as folhas podem responder com alterações anatômicas à poluição, disponibilidade de água, temperatura, radiação e a concentrações de nutrientes (Menezes *et al.*, 2003).

5 | FITORREMEDIAÇÃO DE SOLOS CONTAMINADOS POR Fe E OUTROS METAIS PESADOS

A biorremediação é o processo de tratamento que utiliza a ocorrência natural de microrganismos e/ou plantas para degradar substâncias toxicamente perigosas transformando-as em substâncias menos ou não-tóxicas. Este processo é um mecanismo de estímulo de situações naturais de biodegradação, para a limpeza de derramamentos de óleos, e tratamento de ambientes terrestres e aquáticos contaminados com compostos xenobióticos (substância sintética que polui o meio ambiente) (Sánchez-Castro *et al.*, 2023).

Dentre os inúmeros processos de biorremediação, a fitorremediação envolve o emprego de plantas associado a microbiota do solo e agentes amenizantes (corretivos, fertilizantes, matéria orgânica, etc.), além de práticas agronômicas que, se aplicadas em conjunto, removem, imobilizam ou tornam os contaminantes inofensivos ao ecossistema (Yan *et al.*, 2020). A fitorremediação pode ser usada em solos contaminados com substâncias orgânicas ou inorgânicas, como metais (chumbo (Pb), Zinco (Zn), Cobre (Cu), Níquel (Ni), Mercúrio (Hg)); compostos inorgânicos (nitrito (NO_3^-), amônio (NH_4^+), Fosfato (PO_4^{3-})); elementos químicos radioativos (Urânio (U), Césio (Cs)); hidrocarbonetos de petróleo (BTEX); agrotóxicos; explosivos (TNT, DNT); solventes clorados (TCE, PCE); herbicidas (atrazine, bentazona, compostos clorados e nitroaromáticos); subprodutos tóxicos da indústria (PCPs, PAHs), entre outros (Cunningham *et al.,* 1996; Kafle *et al.,* 2022).

Essa técnica promove a degradação, a volatilização, a acumulação dos contaminantes e a estimulação da microbiota do solo e da rizosfera. A fitorremediação pode ser decorrente da assimilação direta dos contaminantes, e subsequente acumulação de metabólitos não-tóxicos nos tecidos vegetais. Estes compostos na planta estão associados a componentes estruturais, e do estímulo da atividade microbiana provocada pela planta. Nesta condição, por ação dos microrganismos, a planta pode liberar exsudatos que favorecem o aumento da mineralização do contaminante na região da rizosfera (Yan *et al.*, 2020; Kafle e*t al.*, 2022).

A utilização desta técnica é baseada na seletividade natural ou desenvolvida, que algumas espécies exibem a determinados tipos de compostos ou mecanismos de ação. Esse fato é de ocorrência comum em espécies agrícolas e daninhas, tolerantes a certos herbicidas. A seletividade deve-se ao fato de que os compostos orgânicos podem ser

translocados para outros tecidos da planta e subsequentemente volatilizados; podem ainda estar submetidos a uma parcial ou completa degradação, ou ser transformados em compostos menos tóxicos, especialmente menos fitotóxicos, combinados e/ou ligados a tecidos das plantas (Accioly; Siqueira, 2000). Antes de serem isolados em vacúolos, ou ligarem-se a estruturas celulares insolúveis, como a lignina, a maioria dos compostos orgânicos parece estar submetida a algum grau de transformação nas células das plantas (Kafle *et al*., 2022).

A fitorremediação apresenta seis funções básicas, entre elas a fitodegradação, fitoextração, rizofiltração, rizodegradação, fitoestabilização e fitovolatilização (Yan *et al*., 2020; Kafle *et al.,* 2022; Raklami *et al*., 2022). Estas funções podem ser consideradas exemplos destacados da ecofisiologia das plantas e das aplicações destes organismos na recuperação do meio ambiente.

- **Fitodegradação** - os contaminantes orgânicos são degradados ou mineralizados dentro das células vegetais por enzimas específicas.
- **Fitoextração -** envolve a absorção dos contaminantes pelas raízes, os quais são nelas armazenados, ou são transportados e acumulados na parte aérea. Esta técnica utiliza as plantas chamadas hiperacumuladoras, que tem a capacidade de armazenar altas concentrações de metais específicos.
- **Fitoestabilização -** os contaminantes orgânicos ou inorgânicos são incorporados à lignina da parede vegetal ou ao húmus do solo, precipitando os metais sob formas insolúveis, sendo posteriormente aprisionados na matriz. Essa técnica objetiva evitar a mobilização do contaminante e limitar a difusão no solo, por meio de uma cobertura vegetal.
- **Fitoestimulação** - as raízes em crescimento (extremidades e ramificações laterais) promovem a proliferação de microrganismos degradativos na rizosfera, que usam os metabólitos exudados da planta como fonte de carbono e energia. Além disso, as plantas podem secretar enzimas biodegradativas. A aplicação da fitoestimulação limita-se aos contaminantes orgânicos.
- **Fitovolatilização -** ocorre por meio da ascensão e transpiração do poluente pela planta e a liberação do poluente é feita para a atmosfera, na forma original ou modificada. Este mecanismo é empregado também para compostos orgânicos.
- **Rizofiltração** - as plantas terrestres absorvem, concentram e/ou precipitam os contaminantes de um meio aquoso, particularmente metais pesados ou elementos radiativos, por meio do sistema radicular.

6 I SELEÇÃO DE PLANTAS DESTINADAS À FITORREMEDIAÇÃO

Para as plantas destinadas à fitorremediação é desejável que elas possuam algumas características que devam ser usadas como indicativos para sua seleção. As

características destas plantas estão associadas a capacidade de absorção, concentração e/ou metabolização e tolerância ao contaminante; retenção do contaminante nas raízes (no caso da fitoestabilização, como oposto à transferência para a parte aérea, evitando a manipulação e disposição); apresentar sistema radicular profundo e denso; alta taxa de crescimento e produção de biomassa; capacidade transpiratória elevada (especialmente em árvores e plantas perenes); fácil colheita quando necessária a remoção da planta da área contaminada; elevada taxa de exsudação radicular; resistência a pragas e doenças; fácil controle ou erradicação; elevado crescimento em ambientes diversos; e ocorrência natural em áreas poluídas, que é um fator importante na identificação (Kafle *et al*., 2022).

A espécie *Ricinus communis,* por exemplo, comumente conhecida como mamoneira é uma planta de fácil ocorrência no Brasil e com grande potencial de uso na fitorremediação de solos contaminados. Isto porque, é uma espécie rústica, que se adapta a ambientes impactados e de solo pobre, possui uma estratégia de dispersão eficiente e tem apresentado tolerância a metais pesados (Rosenfield, 2007). As mamoneiras podem ser utilizadas como fitorremediadoras, utilizando o processo de fitoextração, devido ao seu potencial hiperacumulador (Lima *et al*., 2010).

Portanto, a seleção das espécies a serem utilizadas em processos de fitorremediação é de extrema importância para que a aplicação da técnica seja efetiva na eliminação de substâncias tóxicas e descontaminação ambiental. Apesar das inúmeras espécies com potencial de uso devido à sua capacidade de hiperacumulação, muitas delas podem apresentar crescimento lento e acúmulo de biomassa baixo, além de baixa tolerância a metais pesados (Oladoye *et al.,* 2022). Estudos recentes têm demonstrado que com o avanço das abordagens ômicas a seleção de espécies destinadas à fitorremediação pode se tornar cada vez mais facilitada (Yadav *et al.,* 2023).

CONSIDERAÇÔES FINAIS

Com o avanço das atividades de mineração, o descarte e deposição de resíduos e rejeitos da indústria de minério de ferro no solo aumentam o risco de ocorrência de contaminação e/ou poluição do solo por metais pesados. Este processo de contaminação impacta diretamente o crescimento de plantas e a possibilidade de revegetação de áreas degradação pelo processo de mineração. Portanto, a implementação de técnicas de biorremediação, especialmente a fitorremediação, é uma importante aliada no controle da contaminação do solo, e em muitos casos, da água subterrânea. Para que o emprego da técnica seja eficiente é importante a seleção de espécies vegetais que sejam tolerantes aos metais depositados no solo, e que estas espécies tenham plena capacidade de possibilitar o acúmulo ou mineralização destes resíduos, a partir da sua interação com microrganismos do solo. Assim, a aplicação da técnica pode tornar-se eficiente, possibilitando a redução de danos ambientais decorrentes da mineração e indústria metalúrgica.

REFERÊNCIAS

ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O. Contaminação química e biorremediação do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. **Tópicos em ciências do solo.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciências do solo, 200. v. 1. p. 299-352.

ADAMSKI, J. M. **Respostas morfofisiológicas de *Ipomoea batatas* L. em função da concentração de ferro**. Dissertação. Universidade Federal de Pelotas, Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal. 64p, 2011.

APPANNAGARI, D. R. R. Environmental Pollution Causes and Consequences: A Study. **North Asian International Research Journal of Social Science & Humanities**, v. 3, n. 8, pág. 151-161, 2017.

ARAÚJO, A. S. F.; MELO, W. J. Soil microbial biomass in organic farming system. **Ciência Rural**, v. 40, p. 2419-2426, 2010.

ARTIOLA, J. F.; WALWORTH, J. L.; MUSIL, S. A.; CRIMMINS, M. A. **Soil and land pollution**. In: Environmental and pollution science. Academic Press, p. 219-235. 2019.

BARCELÓ, J.; POSCHENRIEDER, C. H. Respuestas de las plantas a la contaminacion por metales pesados. **Suelo y Planta**, Madrid, v. 2, p. 345-361, 1992.

BUJOKAS, M. W. **O impacto da poeira de cimento em *Schinus therebinthifolius* Raddi**. Curitiba, 2001. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná.

CRATHORNE, B.; DOBBS, A. J.; REES, Y. Chemical pollution of aquatic environment by priority pollutants and its control. In: HARRISON, R. M. (Ed.) **Pollution causes, effects, and control**. 3.ed. London: The Royal Society of Chemistry, 1996.

COSTA, C. M. DA; CHAVES, E. V. Atividade fitorremediadora da espécie *Melissa officinalis* em solo contaminado por chumbo. **Anais...**Congresso norte-nordeste de pesquisa e inovação, Maceió - Alagoas 2010

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de atendimento a acidentes ambientais em postos e sistemas retalhistas de combustíveis.** 1984 a 2004. 2005. 23p. Série Relatórios / Secretaria de Estado do Meio Ambiente. São Paulo, 2005. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em 28/07/2023.

CONNOLLY, E. L.; GUERINOT, M. L. Iron stress in plants. **Genome biology**, v.2, p.1-4, 2002.

CUNNINGHAM, S. D.; ANDERSON, T. A.; SCHWAB, A. P.; HSU, F. C. Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants. **Advance in Agronomy**, New York, V. 56, P. 55-114, 1996.

GRANTZ D. A, GARNERB J. H. B, JOHNSON D. W. Ecological effects of particulate matter**. Environment International,** v. 29, p. 213–239, 2003.

HUANG, H.; ULLAH, F.; ZHOU, D. X.; YI, M.; ZHAO, Y. Mechanisms of ROS regulation of plant development and stress responses. **Frontiers in plant science**, v. 10, p. 800, 2019.

KHAN, A. G.; KUEK, C.; CHAUDHRY, T. M.; KHOO, C. S.; HAYES, W. J. Role of plants, mycorrhizae and phytochelators in heavy metal contaminated land remediation. **Chemosphere**, v.21, p.197-207, 2000.

KROH, G. E.; PILON, M. Regulation of iron homeostasis and use in chloroplasts. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 21, n. 9, p. 3395, 2020.

KROHLING, C. A.; EUTRÓPIO, F. J.; BERTOLAZI, A.A.; DOBBSS, L.B.; CAMPOSTRINI, E.; DIAS, T.; RAMOS, A.C. Ecophysiology of iron homeostasis in plants. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 62, n. 1, p. 39-47, 2016.

KUKI, K. N.; OLIVA, M. A.; PEREIRA, E. G.; COSTA, A. C.; CAMBRAIA, J. Effects of simulated deposition of acid mist and iron ore particulate matter on photosynthesis and the generation of oxidative stress in *Schinus terebinthifolius* Radii and *Sophora tomentosa* L. **Science of the Total Environment**, v.403, p.207-214, 2008.

KURWADKAR, S.; KANEL, S. R.; NAKARMI, A. Groundwater pollution: Occurrence, detection, and remediation of organic and inorganic pollutants. **Water Environment Research**, v. 92, n. 10, p. 1659-1668, 2020.

LAPAZ, A.M.; YOSHIDA, C. H. P.; GORNI, P.H.; FREITAS-SILVA, L. D.; ARAÚJO, T. D. O.; RIBEIRO, C. Iron toxicity: effects on the plants and detoxification strategies. **Acta Botanica Brasilica**, v. 36, p. e2021abb0131, 2022.

LIMA, A. M de.; **Avaliação do potencial fitorremediador da mamona (*Ricinus communis* L.) e girassol (*Helianthus annuus* L.) quanto à remoção de chumbo e tolueno em efluentes sintéticos**. Tese de Doutorado. Programa de de Pós-graduação da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2010.

LOPES, A. S.; OLIVA, M. A.; MARTINEZ, C. A. Impacto das imissões de dióxido de enxofre e deposição de material particulado de ferro em espécies vegetais de restinga: avaliação ecofisiológica. *In:* ESPÍNDOLA, E. L. G.; PASCHOAL, C. M. R.; ROCHA, O.; BOHRER, M. B. C.; OLIVEIRA NETO, A. L. (eds), **Ecotoxicologia - Perspectivas para o século XXI**. RiMa Artes e Textos, São Carlos, p 53-71, 2000.

MENEZES N. L.; SILVA D. C.; PINNA G. F. M. Folha. In: PAOLI, A. et al. **Anatomia Vegetal**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2003.

NEVES, N. R.; OLIVA M. A.; CENTENO, D. C.; COSTA, A. C.; RIBAS, R. F.; PEREIRA, E. G. Photosynthesis and oxidative stress in the restinga plant species *Eugenia uniflora* L. exposed to simulated acid rain and iron ore dust deposition: Potential use in environmental risk assessment. **Science of Total Environment**., v. 407, p. 3740-3745, 2009

OLADOYE, P. O.; OLOWE, O. M.; ASEMOLOYE, M. D. Phytoremediation technology and food security impacts of heavy metal contaminated soils: A review of literature. **Chemosphere**, v. 288, p. 132555, 2022.

OLIVEIRA, C. R. M.; OLIVA, M. A.; E PEREIRA, E. G. Efeito do Material particulado de Ferro no Teor de Pigmentos de *Schinus terebinthifolius* Raddi. **Revista brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, supl. 2, p. 681-683, 2007.

RAI, S.; SINGH, P. K.; MANKOTIA, S.; SWAIN, J.; SATBHAI, S. B. Iron homeostasis in plants and its crosstalk with copper, zinc, and manganese. **Plant Stress**, v. 1, p. 100008, 2021.

RAKLAMI, A.; MEDDICH, A.; OUFDOU, K.; BASLAM, M. Plants - Microorganisms-based bioremediation for heavy metal cleanup: Recent developments, phytoremediation techniques, regulation mechanisms, and molecular responses. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 9, p. 5031, 2022.

ROSENFIELD, M. F.; AZZOLINI M.; PORTO, M. L. E RODRIGUES, G. G. Influência dos resíduos carboníferos na decomposição de *Ricinus communis* L. Nota científica, **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, supl. 1, p. 690-692, 2007

SÁNCHEZ-CASTRO, I.; MOLINA, L.; PRIETO-FERNÁNDEZ, M. A.; SEGURA, A. **Past, present and future trends in the remediation of heavy-metal contaminated soil-Remediation techniques applied in real soil-contamination events**. Heliyon, 2023.

SCHMIDT, W. Iron solutions: acquisition strategies and signaling pathways in plants. **Trends in plant science**, v.8, p.188-193, 2003.

SILVA L. C. D.; OLIVA M. A.; AZEVEDO A. A.; ARAÚJO J. M. Responses of restinga plant species to pollution from an iron pelletization factory. **Water Air Soil Pollut**., v. 17, p. 241–56, 2006.

SUMAIRA; SIDDIQUE, H. M. A. Industrialization, energy consumption, and environmental pollution: evidence from South Asia. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, n. 2, p. 4094-4102, 2023.

TERRONES-SAETA, J. M.; SUÁREZ-MACÍAS, J.; BERNARDO-SÁNCHEZ, A.; ÁLVAREZ DE PRADO, L.; MENÉNDEZ FERNÁNDEZ, M.; & CORPAS-IGLESIAS, F. A. Treatment of Soil Contaminated by Mining Activities to Prevent Contamination by Encapsulation in Ceramic Construction Materials. **Materials**, v. 14, n. 22, p. 6740, 2021.

WU, W.; LI, Y.; YAN, M.; YANG, L.; LEI, J.; LIU, H. B. Surface soil metal elements variability affected by environmental and soil properties. **Plos one**, v. 16, n. 7, p. e0254928, 2021

YADAV, R.; SINGH, G.; SANTAL, A. R.; SINGH, N. P. Omics approaches in effective selection and generation of potential plants for phytoremediation of heavy metal from contaminated resources. **Journal of Environmental Management**, v. 336, p. 117730, 2023.

YAN, A., WANG, Y., TAN, S. N., MOHD YUSOF, M. L., GHOSH, S., CHEN, Z. Phytoremediation: a promising approach for revegetation of heavy metal-polluted land. **Frontiers in Plant Science**, 11, 359, 2020

ZAMOTAEV, I. V.; IVANOV, I. V.; MIKHEEV, P. V.; BELOBROV, V. P. Transformation and contamination of soils in iron ore mining areas (a review). **Eurasian Soil Science**, v. 50, p. 359-372, 2017.

CAPÍTULO 19

MAPEAMENTO AMBIENTAL COM DRONES DE BAIXO CUSTO

Data de aceite: 01/09/2023

Wilson Araújo da Silva
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, Centro de Ciências Agrárias
Imperatriz – Maranhão
https://orcid.org/0000-0003-4549-6815

Elder Milhomem Mota Filho
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, Centro de Ciências Agrárias
Imperatriz – Maranhão
https://orcid.org//0009-0005-2827-1317

Cristiane Matos da Silva
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, Centro de Ciências Agrárias
Imperatriz – Maranhão
https://orcid.org/0000-0002-6416-4413

Aichely Rodrigues da Silva
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão
Imperatriz-MA
https://orcid.org/0000-0001-9447-2380

RESUMO: O drone é uma tecnologia que vem sendo aprimorada e explorada com maior intensidade nos últimos anos. Nos setores agrícola e ambiental, vem se destacando como uma ferramenta que facilita o levantamento de dados e informações, auxiliando nas tomadas de decisões, no planejamento e, no manejo das atividades exercidas no campo. Todavia, por se tratar de uma tecnologia recente, ainda apresenta elevado custo de aquisição. Nesse sentido, objetivou-se estudar o potencial de utilização de drones de baixo custo, aplicado nas atividades ambientais e agrícolas. Para tanto, utilizou-se o drone MINI 2 da DJI e, com o auxílio de aplicativos de automação de voos e aplicativos de processamento de dados, de plataforma livre, obteve-se as imagens aéreas, gerando posteriormente o ortomosaico que permitiu obter diferentes mapas temáticos e estudar a qualidade e acurácia dos produtos gerados. O voo foi realizado em uma propriedade rural no município de Carolina – MA, cobrindo uma área de 2,46 hectares. O processamento e análise dos dados foi feita com base no relatório de qualidade gerado no aplicativo WebODM. Verificou-se o grande potencial desse equipamento e dos produtos gerados, como: ortomosaico, hipsometria, cobertura vegetal por diferentes índices de vegetação etc. obtendo-se uma boa qualidade dos produtos, considerando as

condições durante a execução do voo. Entre estes, a distância média de amostragem do solo (GSD) de 1,5 cm/pixel e, uma precisão do posicionamento, tendo como erro total do GPS de 0,77m. Esse resultado não atenderia a norma técnica para georreferenciamento de imóveis rurais do INCRA para vértices situados em limites artificiais. Porém, atenderia para vértices situados em limites naturais. Ressalta-se que, não houve utilização de pontos de controle no terreno, que permitiria corrigir os erros de posicionamento, tanto planimétrico como altimétrico, destacando a importância deste levantamento e processamento de dados com um drone de entrada.
PALAVRAS-CHAVE: Mapeamento. Drones. Ambiente.

ENVIRONMENTAL MAPPING WIHT LOW COST DRONES

ABSTRACT: The drone is a technology that has been improved and explored with greater intensity in recent years. In the agricultural and environmental sectors, it has stood out as a tool that facilitates the collection of data and information, assisting in decision-making, planning and management of activities carried out in the field. However, as it is a recent technology, it still has a high acquisition cost. In this sense, the objective was to study the potential use of low-cost drones, applied in environmental and agricultural activities. For this purpose, the DJI MINI 2 drone was used and, with the aid of flight automation applications and data processing applications, of free platform, the aerial images were obtained, subsequently generating the orthomosaic that allowed to obtain different thematic maps and to study the quality and accuracy of the generated products. The flight was carried out on a rural property in the municipality of Carolina - MA, covering an area of 2.46 hectares. Data processing and analysis was done based on the quality report generated in the WebODM application. It was verified the great potential of this equipment and the products generated, such as: orthomosaic, hypsometry, vegetation cover by different vegetation indices etc. obtaining a good quality of the products, considering the conditions during the execution of the flight. Among these, the average ground sampling distance (GSD) of 1.5 cm/pixel and a positioning accuracy, with a total GPS error of 0.77m. This result would not meet INCRA's technical standard for georeferencing rural properties for vertices located on artificial boundaries. However, it would meet for vertices located on natural boundaries. It should be noted that no control points were used on the ground, which would allow correcting positioning errors, both planimetric and altimetric, highlighting the importance of this survey and data processing with an input drone.
KEYWORDS: Mapping. Drones. Environment.

1 | INTRODUÇÃO

A utilização de drones no mapeamento agrícola e ambiental tem crescido no Brasil, principalmente nos últimos anos. Os drones são ferramentas que permitem diversas aplicações, como o monitoramento ambiental e de lavouras, possibilitando imagear (fotografar ou filmar) e ter uma análise real e completa da situação dos cultivos em poucas horas ou até mesmo em tempo real, pois esses equipamentos permitem transmissões ao vivo em locais que se dispõe de acesso à internet. Isso permite que se identifique

problemas e se faça a correção necessárias no menor tempo possível. A tecnologia dos drones tem sido considerada disruptiva, pois tem sido utilizada para transformar a forma como diversas atividades são realizadas. Alguns exemplos de tecnologias disruptivas são: a internet, a fotografia digital e a telefonia celular.

Nas ciências agrárias, os usos mais comuns têm sido no mapeamento das fazendas, alocação de curvas de nível, a partir da modelagem 3D do terreno, monitoramento de safras e análise de sanidade das lavouras, a partir de índices como o *Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI (Araujo *et al*., 2017). Dentre as principais aplicações na agricultura tem-se: a identificação de problemas como a falta ou o excesso de água nos cultivos (irrigação e drenagem agrícola), problemas relacionados ao perfil químico do solo (Fertilidade do solo e nutrição mineral de plantas) seja pela falta ou excesso de nutrientes, pH inadequado, presença de pragas e doenças nas lavouras, dentre outros.

Os drones auxiliam na diagnose visual e análise dos cultivos, uma vez que permitem uma melhor visualização dos problemas nas lavouras e que não seriam identificados por caminhamentos terrestres, ou seja, a observação e registro de imagens a partir de grandes alturas, permite identificar problemas nos cultivos que não seria possível com observações de solo. Uma vez identificados os problemas a partir de imagens capturadas pelas câmeras dos drones é possível a construção de mapas temáticos e outros produtos cartográficos, permitindo, dessa maneira, aplicações de técnicas agronômicas localizadas, como adubação, calagem, aplicação de herbicidas, drenagem e irrigação em pontos específicos e em taxa variável e não mais em área total, permitindo grande economia e ganhos ambientais.

Estudiosos dessa ferramenta como por exemplo Calderon (2019), da Universidade Federal do Acre, que trabalha com drones, principalmente nas áreas de agronomia e engenharia florestal desde o ano de 2014 diz que: "*É como ter um satélite de monitoramento agrícola portátil, o que amplia em muito as possibilidades da Agricultura de Precisão*". Segundo ele, embora alguns drones profissionais que já vem com câmeras multiespectrais, capazes de produzir imagens para a geração de mapas NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) sejam o equipamento mais indicado para o monitoramento de lavouras, mesmo drones com câmeras comuns, RGB, como os da linha Phantom e MAVIC, têm sido largamente utilizados. Isso se deve ao rápido crescimento do número de empresas que se dedicam a desenvolver soluções para o uso de drones para o agronegócio. Estas empresas desenvolveram e continuam a desenvolver métodos de análise de lavouras a partir de imagens RGB. Polotto (2019) comenta que, o verdadeiro potencial dos drones são obtidos com a utilização dos conceitos de fotogrametria junto ao uso de softwares, que analisam todas as características e imagens gerando um mapa com as informações coletadas. Autores como Perin *et al*. (2016) comentam que, para utilização de todas essas informações de forma a contribuir nos trabalhos periciais e de avaliação de forma além de simples fotografias aéreas, é necessário a utilização de softwares de fotogrametria digital

para construção das ortofotos.

Os mapas temáticos das lavouras obtidos a partir do ortomosaico associados à simples técnicas de classificação de imagens aéreas obtidas por drones com câmeras RGB permitem rápidas análises e decisões de intervenção em tempo mínimo, contribuindo na correção do problema identificado e no aumento da produtividade dos cultivos (SENAR, 2018). Por tudo acima demonstrado fica claro que, o investimento nessa tecnologia, drone/vant, câmera profissional, pacotes computacionais necessários ao voo automatizado ou para o processamento das imagens, ainda se constitui um alto valor de investimento, muito distante da capacidade financeira da maioria dos técnicos, principalmente para aqueles em início de carreira. Portanto, objetiva-se propor a utilização de drones de baixo custo e pacotes computacionais livres aplicados no mapeamento agrícola e ambiental e discutir a qualidade dos produtos obtidos.

2 | METODOLOGIA

O trabalho foi realizado numa propriedade agrícola localizada na Cidade de Carolina – MA. A escolha do local de realização do mapeamento foi devido à maior segurança (baixíssimo tráfego aéreo) e facilidade de liberação dos voos pelos órgãos de controle (DECEA/SARPAS), por se tratar de zona rural distante de aeroportos ou heliportos. Além disso, a propriedade escolhida apresenta áreas de pastagem com histórico conhecido, o que permite estudar, discutir e validar os mapas temáticos obtidos com a tecnologia proposta nesse estudo.

A Figura 1 apresenta a localização da área agrícola onde os voos automatizados foram realizados objetivando a captura de imagens e posterior processamento para a construção do ortomosaico e mapas temáticos a partir da classificação de imagens. A localização da área apresenta como ponto de referência a coordenada geográfica -6,8937º de latitude sul e - 47,4297º de longitude Oeste.



Figura 1. Localização da propriedade agrícola utilizada na realização do estudo.

Fonte: Google Earth (2023).

A obtenção das imagens foi realizada de forma automatizada utilizando o módulo livre do aplicativo DH mobile, que permite fazer o mapeamento automatizado utilizando o drone MINI 2 da DJI. Para isso, faz-se o planejamento do voo no aplicativo onde configura-se vários parâmetros do voo e das imagens, como a delimitação da área de interesse, largura e altura da imagem, altura do voo, sobreposição lateral, sobreposição frontal, direção do voo, dentre outras configurações. A Figura 2 apresenta um modelo dos principais parâmetros a serem configurados antes do drone levantar voo, necessários ao mapeamento automatizado e melhoria na qualidade das imagens obtidas em função dos objetivos pretendidos.

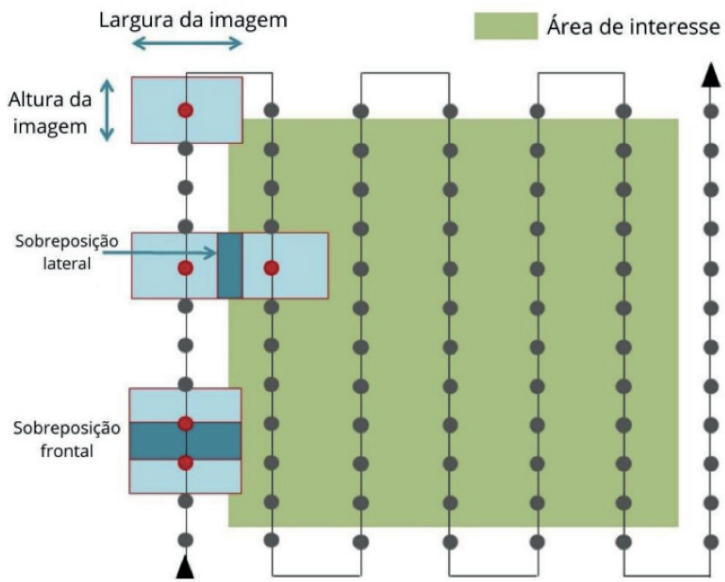


Figura 2. Principais parâmetros a serem configurados objetivando o mapeamento automatizado.

Fonte: Mappa (2020).

É recomendado no mínimo que o plano de voo deva prever uma sobreposição longitudinal de 70% e lateral de 60%, para realização de um mosaico (Polotto, 2019). O processamento das imagens objetivando a construção do ortofotomosaico e posterior classificação das imagens para a obtenção dos mapas temáticos, foi realizado utilizando o módulo livre do aplicativo open drone map que permite obter vários produtos a partir do levantamento aerofotográfico, como nuvens de pontos, modelo digital de superfície, modelo digital de terreno, ortofotomosaico. Esse aplicativo é bastante recomendado para uso acadêmico e para incentivar os primeiros contatos com o processamento fotogramétrico, conforme Droneng (2021).

A análise da qualidade das imagens e produtos gerados será realizada por

manipulação digital e comparação com outros produtos obtidos a partir de imagens livres do Google Earth. Dessa forma, será possível comparar e compreender se há ganho na qualidade de imagens e produtos obtidos com a tecnologia proposta. Para uma melhor visualização da metodologia proposta nesse estudo apresenta-se na Figura 3 um fluxograma dos passos a serem executados para obtenção dos resultados a partir da metodologia aqui proposta.



Figura 3. Fluxograma da metodologia utilizada na obtenção dos mapas temáticos

Fonte: Autores (2022).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Essa pesquisa fora proposta com o objetivo de reduzir custos operacionais e de aquisição para profissionais recém-formados que desejam atuar no mapeamento agrícola e ambiental, bem como, consolidar o estudo dessa tecnologia na região, visto que, trata-se de uma tecnologia recente e com um grande potencial. Uma vez que, parâmetros como: Índice de vegetação, modelagem 3D do terreno e mapeamento de fazendas são alguns dos objetivos buscados nesta pesquisa e são exemplos de mapas temáticos que podem ser obtidos com a utilização de drones de baixo custo, os chamados drones de entrada. O trabalho foi realizado em uma propriedade rural no município de Carolina – MA. O tamanho da área utilizada na pesquisa foi de 2,46 hectares, a análise dos resultados foi realizada com base no relatório técnico de qualidade gerado por meio do *WebODM*, *software* de processamento de imagens capturadas pelo drone.

O voo foi realizado a 50 metros de altura, 80% de sobreposição lateral e 80% de sobreposição frontal. O formato da imagem foi 3:4 (12 milhões de pixels) e parâmetros das fotos no modo automático. Na Figura 4, apresenta-se um resumo do processamento com as definições das imagens processadas. Nessa área foram capturadas 110 imagens, com uma nuvem de 14.783.309 pontos, obtendo um GSD de 1,5 cm/pixel. O sistema de posicionamento utilizado foi o GPS do drone, com erro de 0,77m, sem a utilização de pontos de controle.

Imagens reconstruídas	110 sobre 110 tiros (100,0%)
Pontos reconstruídos (esparsos)	210576 sobre 216652 pontos (97,2%)
Pontos Reconstruídos (Denso)	14.783.309 pontos
Distância Média de Amostragem do Solo (GSD)	1,5 cm
Recursos detectados	25.141 recursos
Recursos reconstruídos	5.735 recursos
Referência geográfica	GPS
Erros de GPS	0,77 metros

Figura 4. Resumo dos dados do processamento.

Fonte: Autores (2022).

A Figura 5, mostra um mapa com os parâmetros do voo: direção do voo, pontos de captura das imagens, bem como, a nuvem de pontos de referência.

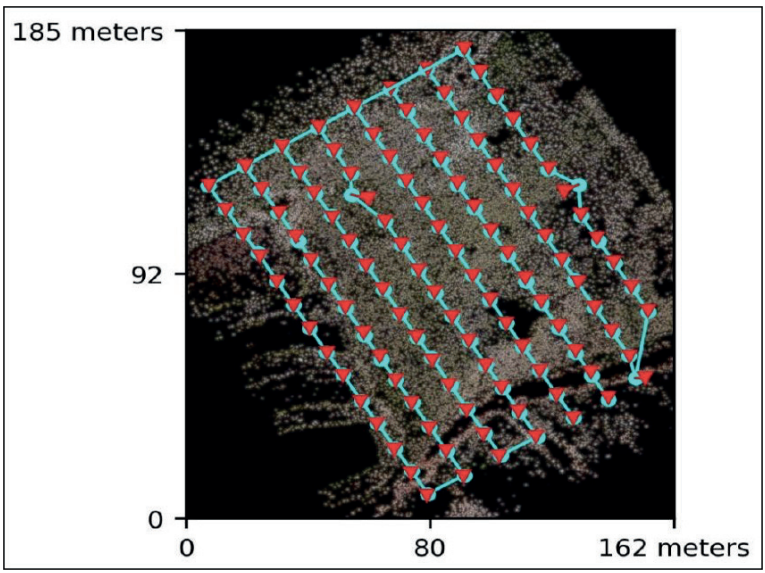


Figura 5. Mapa com parâmetros do voo e imagens.

Fonte: Autor (2022).

As Figuras 6 e 7, apresentam o ortomosaico e o modelo digital de superfície, respectivamente, gerados com as fotografias obtidas pelo drone A ortofoto, por se tratar de

uma imagem livre de distorções, é uma ferramenta imprescindível para uma visualização clara da área em questão. O modelo digital de superfície é um conjunto de pontos com coordenadas conhecidas em um determinado sistema de referência cartográfica, equidistantes ou não e com elevação conhecida, é necessário principalmente para o estudo de volumes de massa de vegetação etc.



Figura 6. Ortomosaico das aerofotografias obtidas pelo drone.

Fonte: Autores (2022).

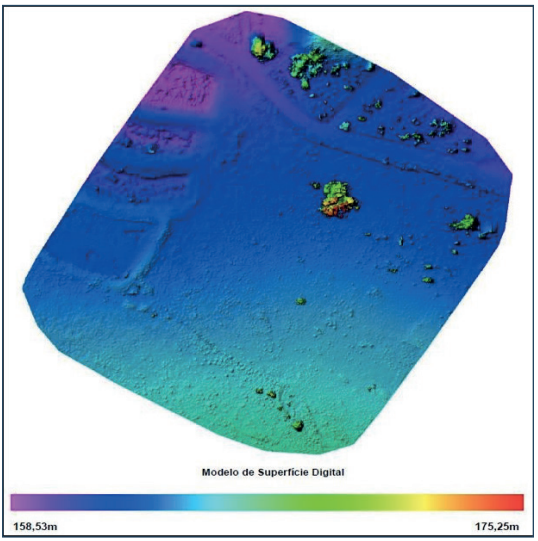


Figura 7. Modelo digital de superfície (MDS).

Fonte: Autores (2022).

Nas Figuras 8, 9 e 10, apresentam-se as tabelas de detalhamento dos erros de GPS, 3D e a precisão, respectivamente. Com relação as coordenadas referenciadas a três eixos ortogonais com origem no centro de massa da terra, sendo o eixo "Z" orientado na direção do *Conventional Terrestrial Pole* (Polo Terrestre Convencional), o eixo "X" na direção média do meridiano de Greenwich e o eixo "Y" de modo a tornar o sistema dextrogiro. Na parte do GPS o erro RMS no eixo X foi de 0,796 metros, no eixo Y 0,562 metros e no eixo Z 1,010 metros, totalizando 0,766 metros. No mapeamento 3D, os erros RMS nos eixos X, Y e Z são 0,020 metros, 0,016 metros e 0,053 metros respectivamente.

Na Figura 10, tem-se a tabela de precisão, onde mostra alguns parâmetros, como a precisão métrica horizontal, sendo a precisão absoluta de 1,002 metros (CE90), e a precisão vertical (LE90) 0,652 metros.

GPS	Significa	Sigma	Erro RMS
Erro X (metros)	-0,002	0,796	0,796
Erro Y (metros)	-0,001	0,562	0,562
Erro Z (metros)	-0,001	1,010	1,010
Total			0,766

Figura 8. Tabela de detalhamento do erro de GPS.

Fonte: Autor (2022).

3D	Significa	Sigma	Erro RMS
Erro X (metros)	0,010	0,018	0,020
Erro Y (metros)	0,009	0,014	0,016
Erro Z (metros)	0,027	0,045	0,053
Total			0,032

Figura 9. Tabela de detalhamento do erro 3D

Fonte: Autores (2022).

GPS	Absoluto	Relativo
Precisão horizontal CE90 (metros)	1,002	0,029
Precisão vertical LE90 (metros)	0,652	0,061

Figura 10. Tabela de precisão

Fonte: Autores (2022).

Os resultados encontrados permitem verificar que as imagens obtidas por esse modelo de drone de baixo custo, utilizado nesse mapeamento experimental, apresentou excelente qualidade sendo possível identificar alvos muito pequenos na área mapeada. Além disso a distância média de amostragem do solo (GSD) calculada pelo software drone

Harmony como parâmetro de orientação e não como geometria real, foi de apenas 1,5cm/pixel. Vale lembrar que se o objetivo do levantamento fosse exatidão seria melhor calcular o GSD, utilizando-se as fórmulas matemáticas existentes ou até mesmo calcular o valor do pixel do produto.

Por se tratar de um mapeamento experimental, utilizando um drone de entrada, optou-se por mapear uma área pequena, uma vez que para o processamento das imagens exige hardwares poderosos com grande capacidade de processamento. Nesse estudo utilizou-se um Notebook com 16gb de memória Ram e placa de vídeo dedicada. Mesmo assim o tempo de precessamento das 110 imagens foi de quase uma hora. Se a área mapeada fosse maior, por exemplo, 50 hectares, a duração do vôo e o número de imagens seria grande, inviabilizando o tempo de processamento. Nesse caso, a solução seria fazer um vôo mais alto e fazer o processamento em nuvem por empresas especializadas. Se o vôo for mais alto, 120m por exemplo, uma fotografia consegue cobrir uma área maior, porém o GSD provavelmente também iria ser maior.

O erro total de posicionamento obtido nesse mapeamento experimental utilizando o drone de baixo custo, foi de 0,77m. A solução para diminuir o erro de posicionamento seria trabalhar com pontos de controle obtidos em terra utilizando-se estação total por exemplo. Os pontos de controle seriam utilizados para corrigir o erro total de posicionamento podendo-se obter resultados milimétricos. Alguns drones já estão incorporando o RTK, que permitirão essa correção em tempo real a partir da base mais próxima do IBGE.

Com base no erro de posicionamento obtido nesse estudo, percebe-se que os levantamentos com drones de baixo custo apresentam grandes possibilidades, principalmente para os produtos que não exigem grande acurácia. Para os produtos onde se necessita grande acurácia deve-se trabalhar, atualmente, com pontos de controle no terreno, até que os drones com tecnologia de correção em tempo real se tornem populares.

AGRADECIMENTO

À Fundação de Amparo à Pesquisa e ao desenvolvimento Científico e Tecnológico do Estado do Maranhão – FAPEMA. À Universidade Estadual da Região Tocantina do Estado do Maranhão - UEMASUL

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de drones de baixo custo, implica em bons resultados em relação a mapas temáticos e geração de produtos que permitem erro maior na precisão dos dados, porém, para elaboração de mapas mais precisos, não atende esse propósito. A Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais, por exemplo, define diferentes padrões de precisão para vértices limites de acordo com os tipos de limites: artificiais

(melhor ou igual a 0,50 metros), naturais (melhor ou igual a 3,00 metros) e inacessíveis (melhor ou igual a 7,50 metros). Logo, como o erro de GPS obtido pelo drone é de 0,77 metros, se torna inviável sua utilização no georreferenciamento de imóveis rurais com limites artificiais, necessitando de pontos de controle no terreno para correção do erro de posicionamento.

Sugere-se que, novos estudos de mapeamento com drones de baixo custo, devem ser realizados utilizando pontos de controle no terreno, obtidos por estação total ou GPS geodésico para melhorar a acurácia máxima nos levantamentos ambientais e/ou com fins agrícolas que se podem obter com esses equipamentos.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, U.C.; CALDERON, R.A.; CALDERON, C, C.M.A. DRONES PARA FINS PROFISSIONAIS. **Anais:** III Semana Florestal da Universidade Federal do Acre, Campus Floresta - ISBN: 978-85-5722-031-7 pg. 75-75. 2017. Disponível em: https://www.even3.com.br/anais/iiiseflor/52779-uso-de-drones-para-fins-profissionais/. Acesso em: setembro/2021.

DRONENG -Drones & Engenharia. **Tudo sobre mapeamento aéreo com drones**. 2021 Disponível em: https://blog.droneng.com.br/open-drone-map-conheca-o-software/ Acessado em: setembro/2021.

INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. **Manual Técnico para georreferenciamento de imóveis rurais**. 2022. Disponível em: https://sigef.incra.gov.br/static/documentos/manual_geo_imoveis.pdf. Acesso em: Julho/2023.

MAPPA – Mapeamento com drones. **Sobreposição de imagens**: por que ela é importante?. 2020. Disponível em: Acesso em https://mappa.ag/blog/sobreposicao-de-imagens-por-que-ela-e-importante/ . Acesso: outubro/2021.

PERIN, G.; GERKE, T.; LACERDA, V. S.; DA ROSA, J. Z.; CAIRES, E. F.; GUIMARÃES, A. M. Análise de Acurácia de Georrefereciamento de Mosaicos de Imagens Obtidas por RPA. Anais do EATI, v. 193, p. 193-199, nov. 2016. **Anais:** Encontro anual de tecnologia da informação e VII simpósio de tecnologia da informação da região noroeste do RS.

POLOTTO, J.P.L.S; Drones, uma importante ferramenta em perícias de engenharia. **Anais...** COBREAP, 2019. Salvador – BA. Disponível em: http://www.mrcl.com.br/AO-31-DronesUma-Importante-Ferramenta-em-Per%C3%ADcias-de-Engenharia.pdf. Acesso em: setembro/2021.

SENAR - Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. **Agricultura de precisão**: operação de drones / Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. – Brasília: Senar, 2018. 84 p; il. 21 cm (Coleção Senar, 249)

ALLISON BEZERRA OLIVEIRA - é graduado em Geografia e especialista em planejamento ambiental pela Universidade Estadual do Maranhão – UEMA. É Mestre e Doutor em Geografia pela Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, possui pós-doutorado na Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. É professor Adjunto da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL.

MARCELO FRANCISCO DA SILVA - é graduado em Ciências/Biologia e especialista em Metodologia do Ensino em Geografia Aplicado ao Planejamento Ambiental pela Universidade Estadual do Maranhão-UEMA. Mestre em aquicultura e recursos aquáticos tropicais pela Universidade Federal da Amazônia - UFRA e Doutor em Biologia de agentes infecciosos e parasitários pela Universidade Federal do Pará. É professor Adjunto da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL.

JOSÉ FÁBIO FRANÇA ORLANDA - é graduado em Química Industrial para Universidade Federal do Maranhão - UFMA. Mestre em Agroquímica pela Universidade Federal de Viçosa - UFV e doutor em Química pela Universidade Federal da Paraíba. É professor Adjunto da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL.

JORGE DINIZ DE OLIVEIRA - é graduado em Química industrial pela Universidade Federal do Maranhão – UFMA. Mestre em Química Inorgânica pela Universidade do Ceará – UFC e Doutor em Química pela Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho – UNESP. É professor Adjunto da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL. Membro da Academia de Ciências, Letras e Artes de João Lisboa-MA

AICHELY RODRIGUES DA SILVA - é graduada em Geografia e especialista em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual do Maranhão – UEMA. É mestre e doutora em Geografia pela Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. É professora adjunta da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL.

Ciências ambientais

no ecótono amazônia-cerrado maranhense

www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br
@atenaeditora
www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Atena Editora
Ano 2023

Ciências ambientais

no ecótono amazônia-cerrado maranhense

www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br
@atenaeditora
www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Atena Editora
Ano 2023