

CULTIVANDO O FUTURO

**TENDÊNCIAS E DESAFIOS
NAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS 2**

**LEONARDO FRANÇA DA SILVA
VICTOR CRESPO DE OLIVEIRA
(ORGANIZADORES)**

CULTIVANDO O FUTURO

**TENDÊNCIAS E DESAFIOS
NAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS 2**

**LEONARDO FRANÇA DA SILVA
VICTOR CRESPO DE OLIVEIRA
(ORGANIZADORES)**

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

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2024 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2024 Os autores

Copyright da edição © 2024 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

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

Cultivando o futuro: tendências e desafios nas ciências agrárias 2

Diagramação: Camila Alves de Cremona
Correção: Maiara Ferreira
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadores: Leonardo França da Silva
 Vítor Crespo de Oliveira

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)	
C968	Cultivando o futuro: tendências e desafios nas ciências agrárias 2 / Organizadores Leonardo França da Silva, Vítor Crespo de Oliveira. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2024. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-258-2126-9 DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.269240501 1. Ciências agrárias. I. Silva, Leonardo França da (Organizador). II. Oliveira, Vítor Crespo de (Organizador). III. Título. CDD 630
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.

É com grande entusiasmo e dedicação que apresentamos a edição de «Cultivando o futuro: tendências e desafios nas ciências agrárias 2». Esta coleção se destaca pelo seu compromisso com a promoção do conhecimento e da inovação no campo das ciências agrárias, por meio de uma abordagem interdisciplinar que reúne especialistas e estudiosos de diversas disciplinas.

Nosso principal objetivo com esta obra é proporcionar uma plataforma para a discussão e disseminação de avanços científicos e tecnológicos no âmbito agrícola. Acreditamos firmemente que somente por meio da colaboração e integração de diversos campos de estudo podemos enfrentar os desafios que a agricultura enfrenta atualmente.

Os conteúdos deste volume foram elaborados por especialistas de renome em diversas áreas das ciências agrícolas, abrangendo temas como a melhoria genética de cultivos, gestão de recursos naturais, tecnologia agrícola de ponta, sustentabilidade agrícola e muito mais. Essa diversidade de abordagens e conhecimentos tem como objetivo enriquecer a compreensão de estudantes, pesquisadores e qualquer pessoa interessada no campo da agricultura e da segurança alimentar.

Queremos expressar nosso sincero agradecimento a todos os autores que contribuíram com suas pesquisas e conhecimentos para a criação desta valiosa coleção. Reconhecemos a importância da divulgação científica e destacamos a Atena Editora como uma plataforma sólida para que os pesquisadores possam compartilhar seus conhecimentos de maneira eficaz.

Estamos comprometidos em promover uma maior conscientização sobre os avanços científicos e tecnológicos nas ciências agrícolas, bem como em oferecer soluções inovadoras para um futuro agrícola mais próspero e sustentável. Esperamos que esta coleção promova a interconexão entre os campos de pesquisa agrícola e contribua para um mundo com sistemas agrícolas mais eficientes e resilientes.

Agradecemos a todos por se unirem a nós nesta emocionante jornada e desejamos uma leitura inspiradora e esclarecedora!

Boa leitura!

Leonardo França da Silva
Víctor Crespo de Oliveira

CAPÍTULO 1 1**O USO DE TÉCNICAS DE BIOLOGIA MOLECULAR NO DESENVOLVIMENTO DE VACINAS E TERAPIAS CONTRA DOENÇAS QUE ACOMENTEM OS ANIMAIS DE PRODUÇÃO**

Carlos Celso Mendonça Ramos
 George Henrique dos Santos Castro
 Karolina Brandão Borges
 Maria do Socorro Costa Oliveira
 Viviane Correa Silva Coimbra
 Carla Janaina Rebouças Marques do Rosário

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2692405011>

CAPÍTULO 2 9**CONTROLE FUZZY PARA NAVEGAÇÃO AUTÔNOMA DE ROBÔS AGRÍCOLAS NA AGRICULTURA 5.0**

Márcio Mendonça
 Kazuyochi Ota Junior
 Andressa Haiduk
 Marcos Antônio de Matos Laia
 Fabio Rodrigo Milanez
 Vicente de Lima Gongora
 Renato Kazuo Miyamoto
 Adriana Giseli Leite Carvalho
 Edinei Aparecido Furquim dos Santos
 Ricardo Breganon
 Augusto Alberto Foggiano
 Gustavo Henrique Bazan
 Rodrigo Rodrigues Sumar
 André Luiz Salvat Moscato
 José Antônio Gonçalves
 Marta Rúbia Pereira dos Santos
 Mateus Henrique De Oliveira Louro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2692405012>

CAPÍTULO 322**MONITORAMENTO DO DESMATAMENTO NO BIOMA AMAZÔNICO COM O SATÉLITE AMAZONIA-1**

Osvaldo Tadatomo Oshiro
 Rafael Vilela de Andrade
 Leonardo Auge Levyman

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2692405013>

CAPÍTULO 432**ASPECTOS MORFOLÓGICOS DAS SEMENTES E DESENVOLVIMENTO PÓS-SEMINAL DE *CEIBA SPECIOSA* (MALVACEAE)**

Tathiana Elisa Masetto
 Daiane Mugnol Dresch

Rosilda Mara Mussury Franco Silva
 Silvana de Paula Quintão Scalon
 Leilaine Gomes da Rocha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2692405014>

CAPÍTULO 542

RELACIONAMENTO DA POPULAÇÃO DE PLANTAS, MANEJO QUÍMICO E ÉPOCA DE PLANTIO NO PROGRESSO TEMPORAL DA MANCHA-DE-RAMULARIA DO ALGODOEIRO

Luciano Fernando Marchioro
 Francisco Ítalo Ferreira Fernantes
 Matheus Fernandes Vaz Machado
 Natalia Bortolini Prado
 Gabriel Felipe de Sousa Meireles
 Isaque Rodrigues Neves
 Rafaela David Nunes
 Carlos Gabriel Xavier Dourado
 Erica Fernandes Leão Araújo
 Gleina Costa Silva Alves
 Milton Luiz da Paz Lima

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2692405015>

CAPÍTULO 657

USO DE *Tetrastichus howardi* (Olliff) (Hymenoptera: Eulophidae) NO CONTROLE BIOLÓGICO DE LEPIDÓPTEROS PRAGAS

Natalia Carolina Bermúdez Buitrago
 Christian Sherley Araújo da Silva Torres

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2692405016>

CAPÍTULO 768

REVISÃO SOBRE FATORES FÍSICOS E QUÍMICOS DOS HERBICIDAS NO SOLO, DESTACANDO O CONCEITO DE LIXIVIAÇÃO E SEU POTENCIAL

Bruna Ferreira Lima
 Carlos Henrique Costa Reverte
 Carlos Augusto de Moraes Coimbra
 Júlia Magro Machado
 Ana Carolina Dias Guimarães
 Kassio Ferreira Mendes
 Gabriel Casagrande de Castro
 Miriam Hiroko Inoue

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2692405017>

CAPÍTULO 885

MANEJO DO SOLO PARA ALTAS PRODUTIVIDADES COM USO DE BASALTO

Elcio Ferreira dos Santos
 Karina Renostro Ducatti
 Gutierrez Nelson Silva

Mateus Augusto Donega

Marcela Silva Carvalho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2692405018>

CAPÍTULO 993

UTILIZAÇÃO DE CONCENTRADOS DE APATITA NO MANEJO DO SOLO

Elcio Ferreira dos Santos

Karina Renostro Ducatti

Gutierrez Nelson Silva

Mateus Augusto Donega

Marcela Silva Carvalho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2692405019>

CAPÍTULO 10.....101

MICAXISTO NO MANEJO DO SOLO INCREMENTO DE PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA

Elcio Ferreira dos Santos

Karina Renostro Ducatti

Gutierrez Nelson Silva

Mateus Augusto Donega

Marcela Silva Carvalho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.26924050110>

CAPÍTULO 11 109

TAXA DE EMERGÊNCIA E CRESCIMENTO DE VARIEDADES DE ABÓBORA EM SUBSTRATOS NO NORDESTE PARAENSE

José Darlon Nascimento Alves

Mayse Ferreira Sales

Paulo Arthur Silva Pardim

Gabriel Rodrigues do Nascimento

Francisco Elvies Duarte de Souza

Bruno dos Santos da Silva

Carlos Valmison da Silva Araújo

Daíslen dos Reis Soares

Michel Sauma Filho

Heráclito Eugênio Oliveira da Conceição

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.26924050111>

SOBRE OS ORGANIZADORES117

ÍNDICE REMISSIVO118

O USO DE TÉCNICAS DE BIOLOGIA MOLECULAR NO DESENVOLVIMENTO DE VACINAS E TERAPIAS CONTRA DOENÇAS QUE ACOMENTEM OS ANIMAIS DE PRODUÇÃO

Data de submissão: 17/11/2023

Data de aceite: 22/12/2023

Carlos Celso Mendonça Ramos

Universidade Estadual do Maranhão -
UEMA

Programa de Pós-Graduação Profissional
em Defesa Sanitária Animal - PPGPDSA
São Luís, Maranhão
<http://lattes.cnpq.br/4537138147623114>

George Henrique dos Santos Castro

Universidade Estadual do Maranhão –
UEMA

Programa de Pós-Graduação Profissional
em Defesa Sanitária Animal - PPGPDSA
São Luís, Maranhão
<http://lattes.cnpq.br/7728674220188855>

Karolina Brandão Borges

Universidade Estadual do Maranhão –
UEMA

Programa de Pós-Graduação Profissional
em Defesa Sanitária Animal - PPGPDSA
São Luís, Maranhão
<http://lattes.cnpq.br/2213155847592884>

Maria do Socorro Costa Oliveira

Universidade Estadual do Maranhão -
UEMA

Programa de Pós-Graduação Profissional
em Defesa Sanitária Animal - PPGPDSA
São Luís, Maranhão
<http://lattes.cnpq.br/2002116970487689>

Viviane Correa Silva Coimbra

Universidade Estadual do Maranhão -
UEMA

Programa de Pós-Graduação Profissional
em Defesa Sanitária Animal - PPGPDSA
São Luís, Maranhão
<http://lattes.cnpq.br/5735297692590207>

Carla Janaina Rebouças Marques do Rosário

Universidade Estadual do Maranhão -
UEMA

Programa de Pós-Graduação Profissional
em Defesa Sanitária Animal - PPGPDSA
São Luís, Maranhão
<http://lattes.cnpq.br/8929786232927576>

RESUMO: As técnicas de biologia molecular aplicadas à biotecnologia possuem grande aplicação nos campos científicos, na saúde humana e animal. A utilização dessas técnicas proporcionou o desenvolvimento de vacinas reduzindo gastos nos diversos sistemas de produção, bem como de terapias eficientes que atuam no tratamento e controle de enfermidades que acometem esses animais. Dessa forma o objetivo desta revisão de literatura foi realizar um levantamento de informações relacionadas ao uso de técnicas de biologia molecular no

desenvolvimento de vacinas e terapias contra doenças que acometem animais de produção. Para tanto, foi realizado levantamento das informações em bases científicas como: Scielo, Web Of Science, Scopus, Google Scholar e Pubmed. Os avanços das técnicas de biologia molecular têm subsidiado o desenvolvimento de vacinas e terapias mais seguras e eficazes, contribuindo com o aumento da produção e produtividade dos animais de criação, visto que contribuem para o controle e prevenção de doenças.

PALAVRAS-CHAVE: Biologia molecular; vacinas; terapia gênica; animais de produção.

THE USE OF MOLECULAR BIOLOGY TECHNIQUES IN THE DEVELOPMENT OF VACCINES AND THERAPIES AGAINST DISEASES THAT AFFECT FARM ANIMALS

ABSTRACT: Molecular biology techniques applied to biotechnology have wide application in scientific fields, human and animal health. The use of these techniques has led to the development of vaccines, reducing costs in various production systems, as well as efficient therapies to treat and control diseases that affect these animals. The aim of this literature review was to survey information related to the use of molecular biology techniques in the development of vaccines and therapies against diseases that affect production animals. To this end, information was collected from scientific databases such as Scielo, Web Of Science, Scopus, Google Scholar and Pubmed. Advances in molecular biology techniques have helped to develop safer and more effective vaccines and therapies, helping to increase the production and productivity of farm animals, as they contribute to the control and prevention of diseases.

KEYWORDS: Molecular biology; vaccines; gene therapy; production animals.

INTRODUÇÃO

O Brasil, em 2020, teve um significativo aumento nas exportações de carne bovina (27,6%) e de frango (4,2%), isso se deve principalmente a sanidade animal que tem tornado os produtos de origem animal oriundos do país bem aceitos no mercado internacional (CEPEA, 2022). A biologia molecular desempenha um papel crucial nessa sanidade, fornecendo uma melhor compreensão dos mecanismos biológicos subjacentes desde a alimentação às diferentes enfermidades, no desenvolvimento de vacinas e terapias inovadoras (NEOPROSPECTA, 2023).

A prática vacinal garante a qualidade de vida dos animais, previnem doenças e consequentemente a segurança dos produtos fornecidos. Vacinas são produtos biológicos, cuja produção ocorre a partir da utilização de microrganismos, sendo eles inativos, vivos atenuados ou de fragmentos capazes de simular o antígeno, assim, estimulando a produção de anticorpos específicos. Seu uso tornou-se rotineiro, nos animais de produção, pois tem reduzido gastos com medicamentos, assistência veterinária e perdas econômicas oriundas do sacrifício de animais acometidos com doenças infecciosas de sacrifício obrigatório pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) (BALLALAI, 2023).

A terapia gênica é uma técnica que consiste na transferência de um ou mais

genes para um indivíduo, tendo como objetivo o tratamento de determinadas doenças. Substituindo o gene endógeno danificado por um funcional, restaurando a função gênica e/ou exacerbando sua atividade. A terapia gênica tem demonstrado resultados extremamente relevantes no âmbito na medicina veterinária.

Dessa forma o objetivo desta revisão de literatura foi realizar um levantamento de informações relacionadas ao uso de técnicas de biologia molecular no desenvolvimento de vacinas e terapias contra doenças que acometem animais de produção.

METODOLOGIA

Trata-se de uma revisão integrativa da literatura que explorou bases científicas como: Scielo, Web Of Science, Scopus, Google Scholar e Pubmed. O levantamento foi realizado nos meses de setembro e outubro de 2023, utilizando os seguintes descritores (em inglês e português) para pesquisa nas bases supracitadas: terapia gênica, desenvolvimento de vacinas, biologia molecular, impacto econômico, animais de produção e tratamento. Foram considerados artigos científicos, livros, dissertações e teses.

REVISÃO DE LITERATURA

A descoberta da vacina foi um grande marco na história da humanidade, responsável pela prevenção de doenças. Com isso, várias estratégias foram criadas ao longo dos anos para produção de diferentes tipos de vacinas, classificadas em gerações. A primeira geração consiste em vacinas produzidas com vírus vivos atenuados ou mortos inativados. A segunda geração utiliza antígenos purificados oriundos de fontes naturais, sintéticas ou derivadas de tecnologia do DNA recombinante (rDNA). E a terceira geração ou vacina gênica, compõe-se de DNA complementar (cDNA) que codifica antígenos potencialmente imunizantes carregados por plasmídeos de DNA (DINIZ & FERREIRA, 2010).

Nesse contexto, as primeiras vacinas foram produzidas a partir de agentes etiológicos, sendo eles bactérias ou vírus, atenuados ou inativados, que ao serem inoculados no corpo vivo, estimulam o sistema imunológico a identificar e atacar o agente invasor por intermédio da produção de anticorpos, conferindo-lhe a proteção específica contra determinada doença (CALDEIRA & PADOIN, 2017).

Com o passar do tempo, outros estudos foram realizados e novas técnicas foram empregadas na produção de vacinas, com a utilização de fragmentos cada vez menores de patógenos visando aumentar a segurança e sem prejudicar a eficácia vacinal. O avanço da biotecnologia moderna, tornou possível a utilização das técnicas de manipulação genética, isso influenciou no desenvolvimento das gerações de vacinas, devido a descoberta de novos antígenos, adjuvante, vetores ou sistemas de entrega (DINIZ & FERREIRA, 2010).

A descoberta da estrutura do DNA e do código genético revolucionaram as áreas da

genética e biologia molecular, possibilitando manipular de forma controlada e intencional o DNA utilizando técnicas de engenharia genética (FALERIO; ANDRADE; REIS JÚNIOR, 2011). O dogma central da biologia molecular consiste na transcrição e tradução de um gene em proteínas. Isso ocorre a partir da ação do código genético em transformar a sequência de nucleotídeos do DNA, em sequência de aminoácidos para formar proteínas (VASCONCELOS *et al.*, 2021).

Em virtude do avanço ocorrido no campo da biologia molecular, as novas gerações de vacinas estão proporcionando identificar novos alvos antigênicos, criando plataformas de produção e veiculação desses antígenos aliados ao conhecimento mais apurado da imunologia (SILVA, 2011). Com objetivo de produzir menor virulência sem que impeça a formação do antígeno, essas técnicas são utilizadas para produção de vacinas virais, oriundas de vírus atenuados, usando técnicas de deleção, onde ocorre a retirada de segmentos genômicos do DNA viral (BOUSADA & PEREIRA, 2017).

As vacinas de DNA que propõem o tratamento e profilaxia de doenças que acometem os animais vem sendo cada vez mais estudadas (KUTZLER & WEINER, 2008). Dentre as vacinas de DNA para infecções bacterianas, a vacina para o controle da tuberculose humana e bovina foi uma das primeiras vacinas estudadas. O antígeno MPB83 do *Mycobacterium bovis* demonstrou boa proteção em bovinos que apresentaram alta taxa de resposta proliferativa ao antígeno MPB83 (CHAMBERS *et al.*, 2000).

A Universidade Federal de Pelotas (UFPeL) em 2017 realizou um depósito de patente de um protótipo de vacina ou componentes de formulações vacinais contra toxinas alfa (CPA), beta (CPB) e épsilon (ETX) de *Clostridium perfringens* obtida via tecnologia do DNA recombinante para animais de produção (PORTAL TECNOLÓGICO DA UFPEL, 2022).

Atualmente também está sendo testada em camundongos para então ser testada em suínos, uma vacina de DNA contra toxoplasmose suína produzida por pesquisadores da Universidade Estadual de Londrina (UEL) (AGÊNCIA ESTADUAL DE NOTÍCIAS DO PARANÁ, 2022).

Existem três vacinas de DNA disponíveis no mercado, uma delas é contra infecção pelo vírus que ocasiona a Febre do Nilo Ocidental (FNO), que acomete equinos, e teve sua licença liberada no ano 2005 no EUA (KUTZLER & WEINER, 2008) a vacina contra a infecção pelo vírus da necrose hematopoiética em salmão com licença liberada também no ano de 2005 no Canadá (GARVER *et al.*, 2005, KUTZLER & WEINER, 2008) e a vacina elaborada para estimular a produção de hormônio do crescimento em suínos e outros animais, com licença liberada em 2007 na Austrália (THACKER *et al.*, 2006, KUTZLER & WEINER, 2008).

Maciel *et al.* (2017) desenvolveram um estudo baseado no desenvolvimento e avaliação de uma vacina recombinante para o controle do garrotilho em equinos e observaram que a vacina composta pelo antígeno rSeM foi inócua e imunogênica, estimulando níveis significativos de imunoglobulinas (IgG) anti-rSeM sem a necessidade de

uso de qualquer adjuvante imunológico. Nesta pesquisa foram usadas técnicas avançadas de biologia molecular para um melhor entendimento da patogenicidade da doença na elaboração de medidas profiláticas.

Cabral (2019) em sua tese de doutorado selecionou antígenos contra o carrapato *Rhipicephalus microplus*, caracterizou e desenvolveu a proteína recombinante rRmLTI-rBmCG-LTB a partir desses antígenos. Esse estudo obteve resultados significativamente, com 55,6% de eficiência vacinal, apresentando uma eficácia superior a de vacinas já comercializadas.

As inovações na biotecnologia influenciaram no desenvolvimento de formulações e na produção de novas vacinas, proporcionando uma ampliação da fronteira da vacinologia, resultando na obtenção de vacinas cada vez mais segura e mais imunogênica. Assim, o organismo produz uma resposta imunológica eficiente frente a agentes patogênicos (LIMA; MORAIS; OLIVEIRA, 2022; CALDEIRA & PADOIN, 2016).

Desse modo, as novas tecnologias aplicadas na produção de imunizantes estão voltadas para o desenvolvimento de vacinas de subunidade de natureza variada, sendo proteínas recombinantes ou moléculas de DNA, e a criação de vetores recombinantes vivos, bacterianos ou virais.

A incidência de doenças em animais de produção, tem causado grandes perdas nas criações em todo o mundo. A tecnologia do rDNA tem sido usada no desenvolvimento de vacinas gênicas com custos de produção reduzido quando comparado a outros métodos. Anticorpos monoclonais são ainda utilizados no diagnóstico e monitoramento de enfermidades, bem como na identificação de moléculas tóxicas na alimentação desses animais. Além disso, estudos de microbiologia e genética potencializam o aumento da produtividade através da seleção de raças mais resistentes às doenças (FALERIO; ANDRADE; REIS JÚNIOR, 2011).

Segundo Neoprospecta (2023), os avanços da biologia molecular na medicina veterinária forneceram novos *insights* sobre os mecanismos de doenças e permitiram o desenvolvimento de tratamentos mais direcionados e eficazes. As técnicas de PCR e sequenciamento de DNA permitiram aos pesquisadores detectarem e identificarem patógenos com alta precisão, mesmo em pequenas quantidades. Essa tecnologia tem sido utilizada também no desenvolvimento de vacinas e terapias que visam vias moleculares específicas envolvidas em doenças, como a gripe aviária e a encefalopatia espongiforme bovina, que são as enfermidades em animais de produção mais preocupantes da atualidade.

O uso do reparo de DNA na identificação de alvos moleculares para o desenvolvimento de fármacos contra a linfadenite caseosa em caprinos, é um exemplo dessa aplicação terapêutica (ALVES *et al.*, 2013). Aplicação de potencial impacto, visto que essa enfermidade é muito difundida na região nordeste do Brasil, bem como devido a inexistência de um tratamento antibiótico eficaz (resistência bacteriana) e de uma vacina com um nível alto de proteção.

O avanço tecnológico nas áreas de biologia molecular e bioinformática tem contribuído para o avanço na pesquisa genômica, permitindo o rápido sequenciamento do genoma dos animais dos principais rebanhos economicamente importantes como ovinos, bovinos, suínos e aves facilitando a dissecação da arquitetura genética das características poligênicas, como de resistência às doenças (BERTANI *et al.*, 2003). Aliada a era genômica surgiu a proteômica que permite determinar quando um produto genético está sendo expresso, a concentração relativa deste produto e, por fim, as modificações que podem ocorrer nestas proteínas após a sua tradução.

A proteômica vai muito além da listagem de proteínas de um determinado animal, podendo fornecer indícios substanciais quanto à organização e à dinâmica dos processos metabólicos, regulatórios e de sinalização através dos quais as células se desenvolvem. Mostrando como estes processos se tornam disfuncionais nos estados patológicos e como podem ser manipulados, mediante, por exemplo, a administração de medicamentos ou terapia gênica (ROSINHA, 2004).

Dessa forma, existe a possibilidade da identificação de novos alvos farmacológicos, novas moléculas bioativas e marcadores biológicos que podem ser usados para diagnóstico clínico de doenças em animais

CONCLUSÃO

Os avanços das técnicas de biologia molecular têm subsidiado o desenvolvimento de vacinas e terapias mais seguras e eficazes. Essas técnicas visam vias moleculares específicas envolvidas nos mecanismos das doenças, proporcionando uma resposta imune mais competente frente aos agentes patogênicos. Essas técnicas vêm contribuindo com o aumento da produção e produtividade dos animais de criação, visto que contribuem para o controle e prevenção de doenças.

REFERÊNCIAS

ALVES, L.F; RODRIGUES, F.; ARANTES, L.S.; VILA NOVA, L.G; SANTOS, L.L.; MYOSHI, A.; AZEVEDO, V.A.C.; LOPES, D.O. O uso do reparo de DNA na identificação de alvos moleculares para o desenvolvimento de fármacos contra a Linfadenite caseosa. **Biochemistry and Biotechnology Reports**. Edição Especial, v. 2, n. 2, p. 127-129, 2013.

BALLALAI, I. **Manual Prático de Imunizações**. 3. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, p. 600, 2023.

BERTANI, G.R.; LEDUR, M.C.; OSORIO, F.A.A. Utilização da Genômica na Investigação da Resistência Genética à Doenças do Suíno. In: XI CONGRESSO BRASILEIRO DE VETERINÁRIOS ESPECIALISTAS EM SUÍNOS, 2003, Goiânia. Resumos... XI Congresso Brasileiro de Veterinários Especialistas em Suínos, p.95-102, 2003.

Biologia molecular na saúde animal, NEOPROSPECTA, 28 de março de 2023. Disponível em: [HTTPS://BLOG.NEOPROSPECTA.COM/BIOLOGIA-MOLECULAR-NA-SAUDE-ANIMAL/](https://blog.neoprospecta.com/biologia-molecular-na-saude-animal/). Acesso em: 16 nov 2023.

BOUSADA, G.M.; PEREIRA, E.L. Produção de vacinas virais Parte I: engenharia de bioprocessos. Revista da Universidade Vale do Rio Verde, Três Corações, v. 15, n. 1, p. 309-332, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5892/ruvrd.v15i1.4038>

CABRAL, B.G. **Seleção de antígenos candidatos à vacina contra carrapatos *Rhipicephalus microplus***. Campo Grande. Tese (Doutorado em Doenças Infecciosas e Parasitárias) - Faculdade de Medicina, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 71p., 2019.

CALDEIRA, M.A.C.O.; PADOIN, M.J. Biotecnologia aplicada à produção de vacinas em uma abordagem metodológica com recursos audiovisuais. Disponível em: http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/cadernosdpde/pdebusca/producoes_pde/2016/2016_artigo_bio_unioeste_mariaaparecidacostadeoliveiracaldeira.pdf. Acesso em: 16 out. 2023.

CEPEA. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **Índices exportação do agronegócio de janeiro a dezembro de 2022**. Disponível em: [https://cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/Cepea_Export_jan-dez_2022_02\(1\).pdf](https://cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/Cepea_Export_jan-dez_2022_02(1).pdf). Acesso em: 10 nov 2023.

CHAMBERS, M.A.; VORDERMEIER, H.M.; WHELAN, A.; COMMANDER, N.; TASCION, R.; LOWRIE, D.; HEWINSON, R.G. Vaccination of mice and cattle with Plasmid DNA Encoding the *Mycobacterium bovis* Antigen MPB83. **Clinical Infectious Diseases**, Chicago, v.30, p.S283–S287, 2000.

DINIZ, M.; FERREIRA, L. Biotecnologia aplicada ao desenvolvimento de vacinas. **Estudos Avançados**. 24(70):19-30, 2010. Disponível em: <http://jararaca.ufsm.br/websites/imunologia/f8bf2829b82046912fc370075d6436ca.htm>). Acesso em: 16 nov 2023.

FALEIRO, F.G.; ANDRADE, S.R.M.; REIS JUNIOR, F.B. Biotecnologia estado da arte e aplicações na agropecuária. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2011. 730p.

GARVER, K.A.; LAPATRA, S.E.E.; KURATH, G. Efficacy of an infectious hematopoietic necrosis (IHN) virus DNA vaccine in Chinook Oncorhynchus tshawytscha and sockeye O. nerka salmon. **Dis Aquat Org**. 64: 13–22, 2005. <https://doi.org/10.3354/dao064013>

KUTZLER, M.; WEINER, D. DNA vaccines: ready for prime time?. **Nat Rev Genet** 9, 776–788, 2008. <https://doi.org/10.1038/nrg2432>

LIMA, J. F.; MORAIS, S. R.; OLIVEIRA, T. S. Tecnologias de produção e controle de qualidade de vacinas: uma revisão. **Revista Científica Multidisciplinar**. v.3, n.1, 1-16, 2022. <https://doi.org/10.47820/recima21.v3i1.1097>

MACIEL, L.F.; MAGALHÃES, G.G.; MORAES, C.M.; ROSA, M.C.; MENDONÇA, M.; MOREIRA, A.N.; DUMMER, L.A.; FINGER, P.F.; FERREIRA, M.R.A.; LEITE, F.P.L.; CONCEIÇÃO, F.R. Imunogenicidade da proteína M recombinante de *Streptococcus equi* subsp. *equi* coadministrada com um adjuvante molecular. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v.69, n.5, p.1351-1356, 2017.

Pesquisadores da UEL desenvolvem vacina pioneira contra toxoplasmose suína. **Agência Estadual de Notícias do Paraná**, Londrina, 20 de janeiro de 2022. Disponível em: <https://www.aen.pr.gov.br/Noticia/Pesquisadores-da-UEL-desenvolvem-vacina-pioneira-contratoxoplasmose-suina>. Acesso em: 16 nov 2023.

Processo de produção simples de vacinas recombinantes para animais contra toxinas alfa, beta e épsilon de *Clostridium perfringens* e vacinas obtidas. **Portal Tecnológico UFPEL**, Pelotas, 31 de agosto de 2022. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/portaltecnologico/patentes/biotecnologia/processo-de-producao-simples-de-vacinas-recombinantes-para-animais-contratoxinas-alfa-beta-e-epsilon-de-clostridium-perfringens-e-vacinas-obtidas/>. Acesso em: 16 nov 2023.

ROSINHA, G.M.S. Potencialidades e Aplicações Práticas da Biologia Molecular na Caprinovinocultura. In: IV SEMANA DA CAPRINOCULTURA E OVINOCULTURA BRASILEIRAS, 2004, Sobral, Embrapa Caprinos, 2004. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/52182/1/AAC-Potencialidades-e-aplicacoes.pdf>. Acesso em: 12 nov 2023.

SILVA, A.J. **Vacinas recombinantes contra erisipela suína: desenvolvimento integrado de bioprocessos, da biologia molecular ao biorreator**. Tese (Doutorado em Biotecnologia) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 190p., 2011.

THACKER, E. L.; HOLTkamp, D.J.; KHAN, A.S.; BROWN, P.A.; DRAGHIA-AKLI, R. Plasmid-mediated growth hormone-releasing hormone efficacy in reducing disease associated with *Mycoplasma hyopneumoniae* and porcine reproductive and respiratory syndrome virus infection. **J. Anim. Sci.** 84, 733–742, 2006. <https://doi.org/10.2527/2006.843733x>

VASCONCELOS, F.T.G.R.; DE BARBOSA, I.N.; CARVALHO, L.M.L.; SOUZA, L.S.E.; KREPISCHI, A.C.V. Revisitando o Dogma Central: a relação entre genes e proteínas. **Genética Na Escola**, 16(2), 196–207, 2021. <https://doi.org/10.55838/1980-3540.ge.2021.380>

CAPÍTULO 2

CONTROLE FUZZY PARA NAVEGAÇÃO AUTÔNOMA DE ROBÔS AGRÍCOLAS NA AGRICULTURA 5.0

Data de aceite: 22/12/2023

Márcio Mendonça

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná
PPGEM-CP - Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Mecânica PP/CP
Cornélio Procópio - PR
<http://lattes.cnpq.br/5415046018018708>

Kazuyochi Ota Junior

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná
Mestre - PPGEM-CP - Programa de Pós-
Graduação Multicampi em Engenharia
Mecânica
Cornélio Procópio - PR
<http://lattes.cnpq.br/3845751794448092>

Andressa Haiduk

Dimension Engenharia
Ponta Grossa - PR
<http://lattes.cnpq.br/2786786167224165>

Marcos Antônio de Matos Laia

Universidade Federal de São Joao Del Rei
Departamento De Ciência Da Computação
– UFSJ
São Joao Del Rei - PR
<http://lattes.cnpq.br/7114274011978868>

Fabio Rodrigo Milanez

Faculdade da Industria Senai
Londrina – PR
<http://lattes.cnpq.br/3808981195212391>

Vicente de Lima Gongora

Faculdade da Industria Senai
Londrina – PR
<http://lattes.cnpq.br/6784595388183195>

Renato Kazuo Miyamoto

Faculdade da Industria Senai
Londrina – PR
<http://lattes.cnpq.br/4663576103826232>

Adriana Giseli Leite Carvalho

Faculdade da Industria Senai
Londrina – PR
<http://lattes.cnpq.br/2967212265737410>

Edinei Aparecido Furquim dos Santos

Governo do Paraná Secretaria de estado
da Fazenda
Maringá – PR
<http://lattes.cnpq.br/8706436030621473>

Ricardo Breganon

Instituto Federal do Paraná, Campus
Jacarezinho
Jacarezinho – Pr
<http://lattes.cnpq.br/2441043775335349>

Augusto Alberto Foggiao

Deparmamento de Odontologia – UENP
Jacarezinho – Pr
<http://lattes.cnpq.br/0580089660443472>

Gustavo Henrique Bazan

Instituto Federal do Paraná, Campus Jacarezinho
Jacarezinho – Pr
<http://lattes.cnpq.br/7076940949764767>

Rodrigo Rodrigues Sumar

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – Pr
<http://lattes.cnpq.br/1461760661483683>

André Luiz Salvat Moscato

Instituto Federal do Paraná, Campus Jacarezinho
Jacarezinho - Pr
<http://lattes.cnpq.br/1744149363927228>

José Antônio Gonçalves

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento Acadêmico de Computação (DACOM)
Cornélio Procópio - PR
<http://lattes.cnpq.br/2462076923342107>

Marta Rúbia Pereira dos Santos

Centro Paula Souza
Etec Jacinto Ferreira de Sá
Ourinhos - SP
<http://lattes.cnpq.br/3003910168580444>

Mateus Henrique De Oliveira Louro

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Graduando Bolsista - Departamento Acadêmico
de Engenharia Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – Pr
<http://lattes.cnpq.br/8431748067658674>

RESUMO: This work aims to highlight the advantages of using fuzzy logic in Agriculture 5.0, especially in the application of fuzzy control for autonomous navigation of agricultural robots. The incorporation of new technologies in agriculture, such as autonomous robotics, is transforming food production methods. Fuzzy control, a decision-making system based on fuzzy logic, is particularly valuable in uncertain and changing agricultural environments. In Agriculture 5.0, autonomous robots play a crucial role in improving productivity and efficiency. Fuzzy control can significantly assist in the navigation of these robots, allowing them to adapt to variable conditions such as weather changes or terrain and to be robust in the face of uncertainties such as unexpected obstacles or variations in plant positions. This results in safe and efficient navigation in different agricultural environments. In summary, fuzzy control provides essential advantages for the autonomous navigation of agricultural robots, including

adaptability and robustness. This work concludes with a summary of findings and suggests possible directions for future research in the field.

PALAVRAS-CHAVE: Agricultura 5.0; Lógica Fuzzy; Robótica Autônoma; Controle Inteligente.

FUZZY CONTROL FOR AUTONOMOUS NAVIGATION OF AGRICULTURAL ROBOTS IN AGRICULTURE 5.0

ABSTRACT: The objective and motivation of this work are to present the advantages of using fuzzy logic in Agriculture 5.0, with some instantiations. Fuzzy control for autonomous navigation of agricultural robots. The employment and incorporation of new technologies in agriculture are transforming the way we produce food. One of the most promising technologies is autonomous robotics, which can automate tasks such as planting, harvesting, and weeding. Fuzzy control is a type of control system that uses fuzzy logic to make decisions. It is often used in applications where the environment is uncertain or changeable, such as in agriculture. In Agriculture 5.0, autonomous robots are becoming increasingly important for improving productivity and efficiency. Fuzzy control can play a fundamental role in the navigation of these robots, helping them navigate safely and efficiently in a variety of environments. The main benefits of fuzzy control for autonomous navigation of agricultural robots include: Adaptability: Fuzzy logic can be used to adapt to changing conditions, such as weather or terrain. This can help the robot navigate safely and efficiently in a variety of environments. Robustness: Fuzzy logic is robust to uncertainties, such as the location of obstacles or the position of plants. This can help the robot avoid collisions and successfully complete its tasks. This work concludes with a conclusion and addresses future research.

KEYWORDS: Agriculture 5.0, Fuzzy Logic, Autonomous Robotics, Intelligent Control.

1 | INTRODUÇÃO

A priori, esta pesquisa abordará o campo da robótica, com foco especial na autonomia robótica, uma vez que esta se apresenta como um dos pilares fundamentais da indústria 4.0 e, conseqüentemente, da Agricultura 5.0. Vale destacar que a Agricultura 5.0, também conhecida como agricultura de precisão, herda grande parte dos sistemas inteligentes de seu predecessor. No entanto, é importante ressaltar que o escopo desta pesquisa se concentra na robótica autônoma, direta ou indiretamente, e sua relevância nos pilares da indústria 4.0.

A robótica autônoma desempenha um papel de importância direta e indireta em diversos aspectos da indústria 4.0, incluindo a simulação de processos. Além disso, na Agricultura 5.0, contribui significativamente para a produtividade, através do uso de tecnologias avançadas que visam aumentar a eficiência da produção agrícola, bem como para a sustentabilidade, ao empregar tecnologias que reduzem o consumo de água, fertilizantes e pesticidas, exemplificadas pelo uso de drones, entre outras.”

A robótica, como campo multidisciplinar, emprega uma combinação intrincada de técnicas que abrangem controle, inteligência artificial, mecânica e eletrônica, sendo

desejável que suas ações de controle se aproximem do tempo real (MENDONÇA et al., 2019; SICILIANO E KHATIB, 2016).

Nos últimos anos, a pesquisa em problemas relacionados à tomada de decisão tem florescido devido ao impacto significativo que essa área exerce na resolução de desafios do mundo real (SICILIANO E KHATIB, 2016).

Definir a tomada de decisão de forma informal revela-se como a habilidade de determinar e escolher as ações apropriadas para a resolução de um problema específico. A decisão pressupõe a existência de alternativas a serem ponderadas, onde o conhecimento especializado e as observações dinâmicas dos sistemas podem ser aplicados para aprimorar tais escolhas (NÁPOLES et al., 2020).

O termo autonomia transcende a mera capacidade de ação e decisão em sistemas de controle artificial; ele abarca também a adaptabilidade do mecanismo de tomada de decisão (MATARIC, 2007; SICILIANO E KHATIB, 2016).

Por outro lado, os Sistemas Autônomos apresentam a notável capacidade de executar tarefas complexas com elevado grau de sucesso, prescindindo de intervenção humana (SHARMA, 2021).

Observa-se um interesse em ascensão no desenvolvimento de robôs e veículos autônomos (agentes), principalmente devido à vasta gama de tarefas que podem desempenhar, destacando-se aquelas que envolvem riscos para a saúde humana e/ou o meio ambiente (MAKI et al., 2010).

Como exemplificação desse avanço, mencionam-se projetos que descrevem robôs móveis autônomos utilizados em soldagem (SCHROTH, et al., 2009), exploração de ambientes (SALAN et al., 2015), operações subaquáticas (Spears et al., 2014), e outros casos citados por Bishop (2000). Esses exemplos ilustram a ampla aplicabilidade e potencial transformador da robótica em diversas esferas da vida moderna.

A área da robótica móvel autônoma, ou agentes móveis autônomos, enfrenta um desafio fundamental: a necessidade de desenvolver estratégias de navegação por meio da interação com o ambiente em que atuam.

De maneira geral, o campo da navegação é vasto e diversificado, repleto de situações que exigem tomadas de decisão e ações de controle. Além disso, o ambiente em que esses agentes operam pode passar por mudanças inesperadas. Nesse contexto, a dificuldade de criar controladores eficientes para esses agentes móveis (robôs) reside na complexa interação entre dois sistemas dinâmicos: o próprio robô e o ambiente ao seu redor. Mesmo em cenários aparentemente estáticos, como é o caso deste estudo, do ponto de vista do robô, o ambiente é dinâmico e desafiador.

Este trabalho está organizado da seguinte forma. No capítulo 2 uma amostra das aplicações de robôs na agricultura, um número que já é grande, é aumenta a cada dia. Na seção 3 um formalismo sobre o modelo de fuzzy utilizado, os *Fuzzy Cognitive Maps* do inglês, por vantagens como baixo peso computacional. A seção 4 apresenta aspectos do

desenvolvimento em estado, inicial, entretanto promissor. E, finalmente a seção 5 conclui e sugere futuro trabalho.

2 | FUZZY COGNITIVE MAPS

Os mapas cognitivos difusos (FCMs) são uma ferramenta de modelagem baseada em conhecimento que pode ser usada para representar e analisar sistemas complexos. FCMs são compostos de um conjunto de conceitos, que representam variáveis ou entidades no sistema, e um conjunto de relações, que representam as interações entre os conceitos (ZHOU, X., LIU, B. 2011).

A origem dos FCM é apresentada por Kosko (1986) como uma base de conhecimentos metodológicas para modelagem e simulação de sistemas dinâmicos. Eles surgiram a partir de mapas cognitivos que foram inicialmente propostos por Axelrod (1976) para representar palavras, ideias, tarefas ou outros itens ligados a um conceito central e dispostos radialmente em volta deste conceito.

Os FCMs possuem aplicações em diferentes áreas de conhecimento, como:

- Engenharia: controle de processos, planejamento de produção, design de produtos e serviços
- Medicina: diagnóstico, prognóstico, tratamento
- Ciências sociais: economia, política, psicologia
- Ciências naturais: meteorologia, oceanografia, climatologia
- Nessa investigação científica, na agricultura, entre outras.

Estruturalmente, um FCM pode ser representado por dígrafos diretos Fuzzy com realimentação, vistos como uma coleção de unidades processadoras neurais e relacionadas por pesos. Desse modo, um sistema pode ser modelado convenientemente em termos de conceitos e as relações de casualidade entre eles (SMITH, MENCZER, 2007).

Estruturalmente, um FCM pode ser representado por dígrafos diretos Fuzzy com realimentação, vistos como uma coleção de unidades processadoras neurais e relacionadas por pesos. Desse modo, um sistema pode ser modelado convenientemente em termos de conceitos e as relações de casualidade entre eles (NAPOLES et al., 2017). Outra possível vantagem do FCM, está na sua complexidade computacional que foi investigada no trabalho de SOUZA, L. B. de et al. (2017).

A estrutura dos Mapas Cognitivos Fuzzy (FCM) é inicialmente construída com base no conhecimento prévio de especialistas, podendo ser ajustada posteriormente por meio de métodos heurísticos, algoritmos genéticos, enxames e outras técnicas. No entanto, os modelos de inferência baseados em FCM geralmente carecem de robustez na presença de modificações dinâmicas não previamente modeladas, devido à sua representação rígida do conhecimento por meio de operações gráficas e matriciais (ACAMPORA E LOIA, 2011).

Para enfrentar esse problema, este artigo propõe um novo tipo de FCM no qual a estrutura pode se adaptar dinamicamente de acordo com os objetivos atuais do modelo, como alcançar um alvo e evitar obstáculos em um sistema de navegação baseado em FCM. Essa abordagem permite que o Mapa Cognitivo Fuzzy Híbrido-Dinâmico (HDFCM) adquira e utilize o conhecimento heurístico de forma dinâmica. O HDFCM e sua aplicação na navegação autônoma serão desenvolvidos e validados nas próximas seções.

Existem trabalhos relacionados na literatura que utilizam mapas cognitivos na pesquisa em robótica móvel. Por exemplo, Min et al. (2006) utilizam o FCM probabilístico na tomada de decisão de um time de futebol de robôs, relacionando as ações com o comportamento da equipe, como chutar a bola na presença de adversários. O FCM probabilístico incorpora uma função de verossimilhança para atualizar os conceitos do mapa. Outro exemplo é o trabalho de Pipe (1998), que utiliza Campo Potencial e Mapas Cognitivos para guiar um robô autônomo.

Além disso, na literatura, encontramos diversas variações dos Mapas Cognitivos Fuzzy que abordam a rigidez na representação do conhecimento, como o Extended-Fuzzy Cognitive Maps (E-FCM) (Hagiwara, 1992), Rule Based Fuzzy Cognitive Maps (RB-FCM) (Carvalho and Tome, 2000), Dynamic Cognitive Network (DCN) (Kostiadis et al., 2000), Mapas Cognitivos Fuzzy com Granularidade Temporal (Acampora and Loia, 2011), Mapas Cognitivos Dinâmicos-Fuzzy (Mendonça et al., 2019) e (Ahmed and Hesham, 2010), Redes Cognitivas Rough (Nápoles et al., 2020) e outras. Um levantamento recente com várias variações do FCM clássico nos últimos anos, que sugere baixa complexidade computacional, é apresentado por Papageorgiou and Salmeron (2013).

3 | APLICAÇÕES DE ROBÓTICA AUTÔNOMA NA AGRICULTURA

Artificial oferece inúmeras oportunidades de aplicação em diversas áreas, e à medida que a tecnologia continua a se desenvolver, suas aplicações na robótica estão se tornando cada vez mais proeminentes. Neste contexto, apresentaremos exemplos de aplicações tanto no ambiente virtual, por meio da automação de processos robóticos, conhecida como *Robotic Process Automation* (RPA), quanto no mundo real, envolvendo robôs físicos.

Começando com alguns exemplos de robôs virtuais, podemos observar sua utilização em aplicações militares, onde desempenham papéis cruciais na criação de protótipos e auxiliam em diversas áreas, tais como cartografia, comunicações, assessoramento em campos de batalha e assistência a pessoas. Além disso, destacam-se suas contribuições na A Inteligência Agricultura 5.0, que é uma evolução da agricultura de precisão, utilizando tecnologias avançadas para otimizar processos agrícolas e alcançar níveis superiores de eficiência e sustentabilidade (SILVA, ALMEIDA, SANTOS, 2023).

O desenvolvimento de veículos autônomos com inteligência artificial é uma tendência forte no setor, devido a sua capacidade de identificar falhas e ameaças a partir de padrões

analisados. Um veículo terrestre não-tripulado também é capaz de dosar com precisão a quantidade de defensivo em uma lavoura, sem nenhuma interferência humana direta. Orientados por GPS e outros sensores, esses equipamentos reduziram a carga de trabalho nas etapas do cultivo, do plantio à colheita, além de aumentar a precisão e regularidade dos resultados obtidos.



Figura 1. BoniRob em uma plantação

O uso de defensivos agrícolas é uma das maiores problemáticas para o setor agrícola, devido a isso, a busca pelo uso de boas práticas na agricultura sustentável desenvolvendo soluções alternativas vem sendo exploradas por grandes empresas. Neste contexto em 2019 uma equipe de especialistas em robótica da Bosch criou um robô agrícola autônomo *BoniRob* (BIBER et al., 2012), apresentado na Figura 6, que pode realizar de forma autônoma tarefas repetitivas de fenotipagem para plantas individuais em dias diferentes e controle mecânico de ervas daninhas.

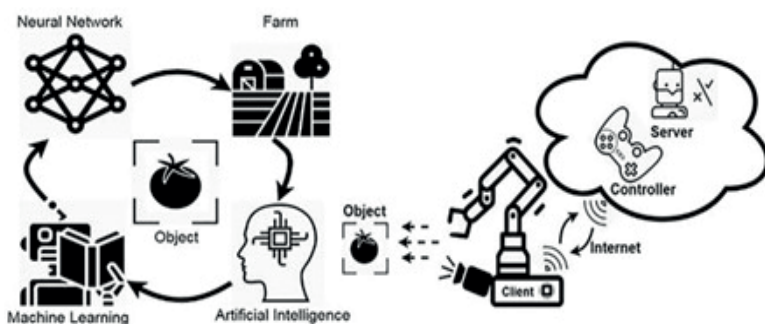


Figura 2. Mecanismo para sistema de colheita de safra.

O robô é capaz de decidir quais plantas são mais aptas a sobreviver a insetos e vírus e quanto de fertilizante eles precisariam, e então esmagar qualquer erva daninha com

um atuador pneumático.

Além dos exemplos apresentados, as decisões agrícolas requerem vasta experiência na tomada de decisões. Sistemas de colheitas utilizando reconhecimento por imagem podem ser utilizados para determinar a maturidade da safra e realizar a coleta através de um braço robótico (HORNG et al., 2020), como pode ser observado na Figura 2

O uso de drones na agricultura é uma prática que vem ganhando cada vez mais espaço nos últimos anos. Essas aeronaves não tripuladas podem ser utilizadas para uma variedade de aplicações, como a pulverização de defensivos agrícolas, a detecção de pragas e doenças, e o monitoramento de lavouras.

Em uma entrevista recente com prestadores de serviços da área, alguns cuidados importantes foram destacados. Um deles é o tempo de voo dos drones, que geralmente é limitado a 20 a 25 minutos. Isso significa que, para uma área extensa, é necessário o uso de vários drones para que a operação seja realizada de forma eficiente Oliveira e Souza, (2023).

Outro cuidado importante é o uso dos drones em condições climáticas adversas, como ventos fortes. Em um caso relatado, o vento levou um pesticida aplicado por um drone para uma lavoura vizinha, causando prejuízos.



Figura 3 – Exemplo de Drone MATRIVE 100

Outro recurso recorrente, porém, mais preciso e com pelo menos 10% de perdas, segundo fabricante. Mesmo que seja um pulverizador autônomo, o Arbus 4000 Jav, esmaga pequenas poções da colheita durante sua trajetória. O robô móvel é mostrado na figura 4.



Figura 4 – ARBUS 4000 Jav - Jacto

A estratégia de robô é bastante interessante e inspirou um protótipo, que ainda se encontra em fase inicial. A saber, esse robô trabalha em comboio, e se comunicam entre eles. Algo interessante e baseado na IoT, internet das coisas. Levou aproximadamente 1 ano e meio para maturação do projeto. O mais interessante que usa o conceito de robótica colaborativa, na qual um ser humano trabalha em parceria com robô. Esse evento é disparado quando uma situação drástica ocorre, como por exemplo, um buraco inesperado, devido a área rural ser bastante complicada para navegação, um ser humano assume o mesmo e o deixa teleguiado até sair da situação drástica o robô volte a ser autônomo.

3.1 Protótipo um robô autônomo para aplicação agrícola usando FCM.

A arquitetura de controle adotada neste trabalho é baseada na Arquitetura de Subsunção (MATARIC, 2007), que permite o desenvolvimento progressivo de sistemas de navegação, começando com um modelo simples com uma ou poucas funcionalidades e gradualmente adicionando novos objetivos para melhorar a capacidade de exploração do agente.

No entanto, o agente (robô móvel) precisa navegar em um ambiente semidesconhecido, tendo apenas informações prévias sobre a posição do alvo no ambiente. Resumindo, apenas as posições do alvo e do ponto de partida do agente são conhecidas. O robô pode executar ações de navegação convencionais, como avançar, virar à direita e/ou virar à esquerda. Ele deve ser capaz de se adaptar às mudanças ambientais com base na intensidade das medições do sensor, utilizando algum algoritmo de aprendizado. A Figura 5 ilustra o robô e o alvo em um ambiente (cenário), bem como a pose (ângulo e

trabalho, porque ainda está em fase inicial e só deverá ter uma mais próxima da realidade, após os experimentos.

5 | CONCLUSÃO

O protótipo desenvolvido com base no ARBUS 4000 Jav - Jacto, inspirado pelo uso do HD-FCM e controle teleguiado, apresenta resultados promissores. O uso do HD-FCM, com sua capacidade de adaptação dinâmica de conhecimento heurístico, permite que o robô atinja com sucesso seus objetivos, como alcançar alvos e evitar obstáculos, de forma eficiente e flexível.

A combinação do HD-FCM com o controle teleguiado proporciona um sistema robusto e versátil, capaz de lidar com modificações dinâmicas no ambiente que não foram previamente modeladas. Isso é essencial para a navegação autônoma em cenários complexos e em constante mudança.

Os resultados obtidos até o momento indicam que o protótipo é uma abordagem promissora para a robótica móvel, demonstrando a viabilidade da utilização de técnicas avançadas de controle e inferência baseadas em FCM. Com essa combinação, o robô é capaz de enfrentar desafios de navegação de forma eficaz, abrindo portas para aplicações futuras em diversos campos, como logística, agricultura, foco dessa investigação, e exploração de ambientes desconhecidos. Futuros trabalhos endereçam a validação do protótipo em desenvolvimento.

AGRADECIMENTOS

Os autores, em especial Mateus Henrique De Oliveira Louro agradecem ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e à FUNDAÇÃO ARAUCÁRIA – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Paraná pelo apoio fornecido ao longo deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ACAMPORA, G., & LOIA, V. (2011). *Fuzzy cognitive maps: Advances in theory, methodologies, tools, and applications* (Vol. 56). Springer Science & Business Media.

AHMED, A., & HESHAM, H. M. (2010). *A new approach to dynamic fuzzy cognitive maps. In 2010 10th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications* (pp. 1196-1200). IEEE.

AXELROD, R. *Structure of decisions: the cognitive maps of political elites*. 1. ed. Princeton, NJ, USA: Princeton University Press, 1976.

CARVALHO, J. M., & TOME, A. M. (2000). *Rule based fuzzy cognitive maps. International Journal of Approximate Reasoning*, 24(2-3), 131-145.

KOSTIADIS, K., GROUMPOS, P. P., & GROUMPOS, P. P. (2000). **Dynamic cognitive networks: Optimal online learning and decision making in fuzzy cognitive maps**. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part B: Cybernetics, 30(2), 296-310.

KOSKO, B. **Fuzzy cognitive maps**. International Journal of Man-Machine Studies, v. 24, n. 1, p. 65–75, 1986.

MIN, J., JOO, S. Y., & KIM, H. J. (2006). **Probabilistic fuzzy cognitive map for the soccer robot team**. In Proceedings of the 2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (pp. 2522-2527). IEEE.]

MATARIC, M. J. (2007). **Front Matter**, pp. i{xvii.

MENDONÇA, R., MOREIRA, A. P., SANTOS, L., LIMA, P., & RODRIGUES, P. (2019). **Dynamic fuzzy cognitive maps for decision support in smart grids**. *Energies*, 12(8), 1482.

MENDONÇA, M., KONDO, H. S., BOTONI, L. S., PALACIOS, R. H. C. AND SILVA, J. P. A. (2019). **Semi-unknown environments exploration inspired by swarm robotics using fuzzy cognitive maps**, 2019 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE), pp. 1,8.

NAPOLES, G. *et al.* **Fuzzy Cognitive Maps Tool for Scenario Analysis and Pattern Classification**. 2017 IEEE 29th International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI). Boston, MA, USA: IEEE, 2017Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8372006/>>

OLIVEIRA, D. S., & SOUZA, J. M. (2023). Uso de drones na agricultura: aplicações e desafios. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 27(1), 1-8.

HAGIWARA, M. (1992). **Extending fuzzy cognitive maps with logical rules**. International Journal of Man-Machine Studies, 37(3), 353-371.

PAPAGEORGIOU, E. I., & SALMERON, J. L. (2013). **Fuzzy cognitive maps: A review of methods used in model development**. Expert Systems with Applications, 40(2), 543-553.

SHARMA, R. (2021). **Artificial intelligence in agriculture: A review**, 2021 5th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS), pp. 937,942

SILVA, JOÃO; ALMEIDA, MARIA; SANTOS, PEDRO. **Agricultura 5.0: A nova revolução agrícola**. Revista Brasileira de Tecnologia e Inovação, 2023.

SICILIANO, B. AND KHATIB, O. (2016). **Robotics**

and the Handbook, Springer International Publishing.

SOUZA, L. B. de et al. **Dynamic Fuzzy Cognitive Maps Embedded and Classical Fuzzy Controllers Applied in Industrial Process**. ICAS 2017: The Thirteenth International Conference on Autonomic and Autonomous Systems. Barcelona, Spain: IARIA, 2017

SMITH, J. Q., & MENCZER, F. (2007). Fuzzy cognitive maps: **A survey**. In **Proceedings of the 2007 ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining** (pp. 1197-1206). ACM.

ZHOU, X., & LIU, B. (2011). Fuzzy cognitive maps: **A survey of applications**. International Journal of Intelligent Systems, 26(10), 1076-1106.

MONITORAMENTO DO DESMATAMENTO NO BIOMA AMAZÔNICO COM O SATÉLITE AMAZONIA-1

Data de aceite: 22/12/2023

Oswaldo Tadatomo Oshiro

Embrapa Territorial, Brazilian Agricultural
Research Corporation, Campinas, SP,
Brasil.

Rafael Vilela de Andrade

Embrapa Territorial, Brazilian Agricultural
Research Corporation, Campinas, SP,
Brasil.

Leonardo Auge Levyman

Embrapa Territorial, Brazilian Agricultural
Research Corporation, Campinas, SP,
Brasil.

RESUMO. O desmatamento na floresta primária do bioma amazônico é uma preocupação da comunidade nacional e internacional e várias metodologias são desenvolvidas para identificar com precisão e rapidez os locais de desmatamento. Nesse trabalho, a metodologia desenvolvida foi baseada em geotecnologia com ferramentas do software ArcGIS Pro, que processa as imagens do satélite Amazonia-1. Estas imagens são ortorectificadas, possuem 4 bandas espectrais, alta resolução temporal e cobrem grandes áreas. Dessa forma, possuem características favoráveis para a geração de polígonos de desmatamento em

tempo quase real, possibilitando uma rápida atuação das autoridades competentes no combate ao desmatamento.

ABSTRACT. Deforestation in the Amazon primary forest is a concern of national and international community. Several methodologies have been developed to accurately and quickly identify deforestation sites. In this work, the methodology developed was based on geotechnology, using ArcGIS Pro software tools, which processes images from the Amazonia-1 satellite. These images are orthorectified, have 4 spectral bands, high temporal resolution and cover large areas. In this way, they have favorable characteristics for identify deforestation polygons in almost real time, allowing the competent authorities to act quickly in the fight against deforestation.

1 | INTRODUÇÃO

A partir da década de 1970 inicia-se um novo momento para a região Amazônica com a abertura da rodovia Transamazônica. Esse processo é considerado chave para a dinâmica do desmatamento em grande escala, em razão da facilidade de acesso

à região Amazônica, formando o conhecido “arco do desmatamento”. O desmatamento aumenta drasticamente a partir do início dos anos 90, principalmente em razão do avanço da pecuária [FEARNSIDE, 2020].

Segundo Diniz (2017), a variável estrada provoca o desmatamento tanto pelo efeito direto, no qual áreas de florestas se tornam estradas, quanto pelo efeito indireto, com a proximidade dos centros urbanos consumidores, escoamento da produção é facilitado. O crescimento das estradas acarreta a expansão de áreas propícias para o surgimento de pastagens, além da redução do custo de transporte.

Com o intuito de realizar a integração econômica, o governo brasileiro na segunda metade do século XX deu início a uma série de planos econômicos, dentre eles alguns voltados para a região Amazônica. Estes planos foram formulados pelo estado ou instituições submetidas a ele visando a integrar a região ao restante do país, por meio dos empreendimentos produtivos. Para isso se fazia necessário, a construção das vias de acesso que possibilitassem a ocupação e produção da região com mão de obra, infraestrutura e produção agropecuária. Os diversos planos aplicados tinham como principal objetivo utilizar os recursos naturais da região oferecia, seja hídrico, madeireiro, mineral ou uso produtivo do solo. [Mendes 2021].

Diniz *et al.* (2009) indicam causalidade entre as variáveis do desmatamento como as lavouras de culturas temporárias, permanentes e rebanhos bovinos. Isto é corroborado por outros estudos, entre eles Ferreira *et al.* (2007); Riveiro *et al.* (2009); Gazoni e Mota (2010); Diniz (2017). Essas variáveis promoverem a intensificação do uso do solo na região Amazônica. Além disso, outro fator que implicou na intensificação desses processos produtivos foi adensamento das estradas, ocasionando o crescimento demográfico da região.

Nas últimas décadas, a população da região Amazônica continuou a exploração desenfreada de recursos naturais. Desde o desmatamento para a extração de madeira como as queimadas para a extração mineral e/ou uso da terra para a agropecuária.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA), o desmatamento acarreta diversos problemas ambientais e sociais, como a perda de biodiversidade, o aumento das emissões de gases de efeito estufa e a diminuição de territórios de populações tradicionais. As ações de controle e prevenção do desmatamento são tratadas por diversos órgãos e ministérios de nosso país, não só na questão legislativa como também na parte executiva, entre eles o Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia (CENSIPAM), o MMA, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), e outros órgãos estaduais e federais, buscam a previsão, planejamento e controle do desmatamento na região Amazônica.

O presente estudo está inserido na problemática do monitoramento do avanço do desmatamento do bioma amazônico que, por meio de imagens do satélite brasileiro Amazonia-1, possibilita-se elaborar relatórios quantificados e representativos em um curto

período. A partir desses mesmos relatórios será possível consultar a localidade da área juntamente com valores numéricos do avanço do desmatamento.

O objetivo deste estudo é desenvolver uma metodologia para monitoramento do desmatamento da floresta primária do bioma amazônico por meio da utilização do sensoriamento remoto, de forma que seja possível obter polígonos de áreas desmatadas em poucos dias. O relatório anual do desmatamento é disponibilizado no site do INPE no mês de novembro e retificado no mês de fevereiro do ano seguinte.

A base de dados de desmatamento do INPE, o Programa de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (sistema PRODES), contém dados provenientes de sensoriamento remoto, das imagens do sensor de imageamento do Landsat-8 (NASA).

O mapeamento realizado pelo INPE com a utilização de imagens de sensoriamento remoto foi iniciado na década de 70 com a comprovação da possibilidade de usar esse tipo de material para o acompanhamento do desmatamento. Este projeto foi posto em prática de forma contínua no final da década dos anos 90. Desde então, com o avanço da tecnologia tornou-se a principal forma para obtenção dessa informação [Alves 2001].

As imagens do satélite do Amazonia-1, lançado em 28/01/2021 e tendo sido projetado, produzido, testado e operado pelo Brasil, foram utilizadas para elaboração da metodologia desenvolvida. Esse satélite possui um imageador óptico de visada larga (câmera com 3 bandas de frequências no espectro visível - VIS - e 1 banda próxima do infravermelho - Near Infrared ou NIR) capaz de observar uma faixa de aproximadamente 850 km com 60 metros de resolução espacial. Seu objetivo de forma geral é fornecer dados de sensoriamento remoto e imagens para o monitoramento ambiental e da agricultura em todo o território brasileiro, especialmente na região amazônica, além de monitorar a região costeira, reservatórios de água e desastres ambientais.

As imagens do Amazonia-1 são de qualidade nível 4 (L4), que segundo o INPE são imagens ortorretificadas, ou seja, imagem com correção radiométrica e correção geométrica de sistema refinado pelo uso de pontos de controle e de um modelo digital de elevação do terreno.

Esse satélite possui um tempo de revisita de 5 dias e resolução temporal de até 2-3 dias, em razão da área de sobreposição da faixa imageada de 850 km. Outros satélites com imagens semelhantes, como da família Landsat, que possuem a resolução temporal de 16 dias e baixa sobreposição da faixa imageada de 185km, possui uma relação entre área da cena do Landsat com a área da cena do Amazonia-1 de apenas 6%. A resolução radiométrica das imagens desses satélites é alta e de boa qualidade. Embora as imagens do Amazonia-1 possuam pixel de 64 m e as imagens dos satélites Landsat pixel de 30 m, isso pouco influenciará no resultado final da análise da área desmatada, por causa da grande área em estudo.

Abaixo podemos observar uma figura explicativa que resume as informações do sensor acoplado ao Amazonia-1 (Figura 1):



Figura 1 – Principais características do Amazonia-1

Por meio de ferramentas de análise espacial foi possível auto correlacionar a dimensão espacial e seu impacto nas variáveis utilizadas, já que o nível de autocorrelação ou dependência espacial indicou a presença de vínculos espaciais entre variáveis que captam manifestações aparentes do desmatamento. Com tal procedimento, pode-se contrapor diferentes modelos econométricos espaciais e a partir da comparação entre estes, pode-se oferecer como resultado a indicação do modelo que apresenta maior aderência empírica e maior poder explicativo de variáveis observáveis associadas às manifestações aparentes do desmatamento no bioma Amazônia [Mendes 2021].

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Foram realizados testes com imagens de vários satélites como: Landsat-8, CBERS 04A, Sentinel-2 e Amazonia-1, sendo o último selecionado por oferecer imagens com características únicas, que se alinham com o propósito geral do estudo.

A Figura 2 mostra que são necessárias apenas 24 cenas para cobrir o bioma amazônico, e ainda há uma grande área de sobreposição das cenas, o que possibilita a resolução temporal de 2-3 dias nestas áreas.



Figura 2 – Cenas do Amazonia-1 no bioma amazônico

O fluxograma da figura 3 ilustra, de forma geral, como a metodologia está estruturada.

As imagens do satélite Amazonia-1 são disponibilizadas pelo INPE (<http://www2.dgi.inpe.br/catalogo/explore>) e processadas no software ArcGIS Pro com as extensões 3D e Spatial Analyst.

Após o download, as imagens são processadas com composição colorida (bandas multiespectrais com as bandas 3,4 e 2) e o resultado é submetido à classificação por meio do método *Support Vector Machine* (SVM). Em linhas gerais, este é um algoritmo que busca uma linha de separação entre duas classes distintas analisando pontos mais próximos de cada classe e, a partir disso, o método SVM consegue prever a qual classe cada pixel pertence.

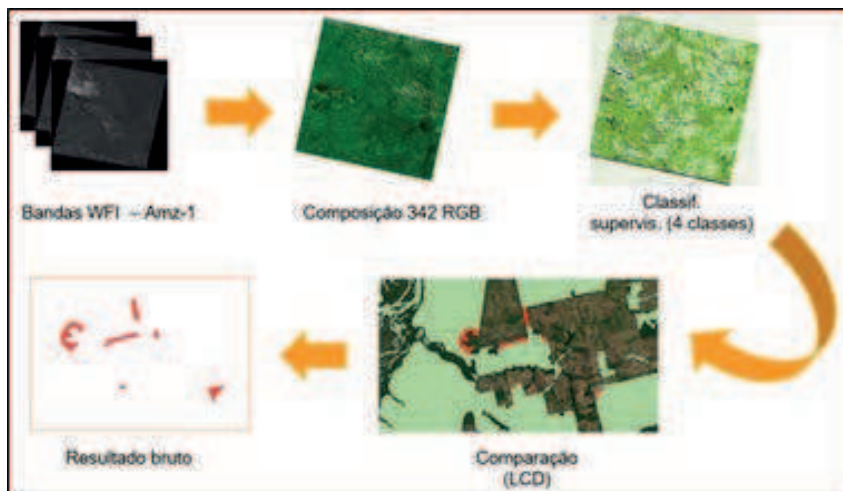


Figura 3 - Fluxograma da metodologia

De acordo com Nascimento *et al.* (2009), o algoritmo SVM consiste em treinar um classificador de forma que este aprenda um mapeamento por meio de exemplos e seja capaz de classificar um exemplo ainda não visto com mesma distribuição probabilística, onde um pixel da imagem possa se basear em outros exemplos da mesma imagem para definir-se em uma das classes trabalhadas: “floresta”, “não floresta”, “nuvem”, e “sombra de nuvem”. Essas classes foram definidas com a preocupação de se gerar um menor conflito na classificação.

Após as classificações, os pixels de imagens de datas diferentes (passado e presente) são comparados para a análise de mudanças, com a ferramenta *Land Change Modeler* (LCM). O resultado da comparação é uma imagem matricial, que é comparada com a floresta primária remanescente do bioma amazônico. O resultado da última comparação é convertido em dados vetoriais (shapefile) e são considerados uma nova área de desmatamento.

Com a metodologia validada, o procedimento foi automatizado com o módulo Model Builder do ArcGIS Pro. O modelo gerado consiste em criar uma rotina de funções em forma de esquema. A Figura 4 mostra na esquematização o fluxo de processamento que serão executados, tendo como a entrada as imagens (prévia e mais recente) e a saída o arquivo de vetores e a tabela no formato .xlsx.

A figura-5 ilustra a interface do usuário no software ArcGIS Pro, tendo como parâmetro as cenas do satélite Amazonia-1, e a configuração da saída com dados tabulares (Excel) e/ou vetoriais (shapefile).

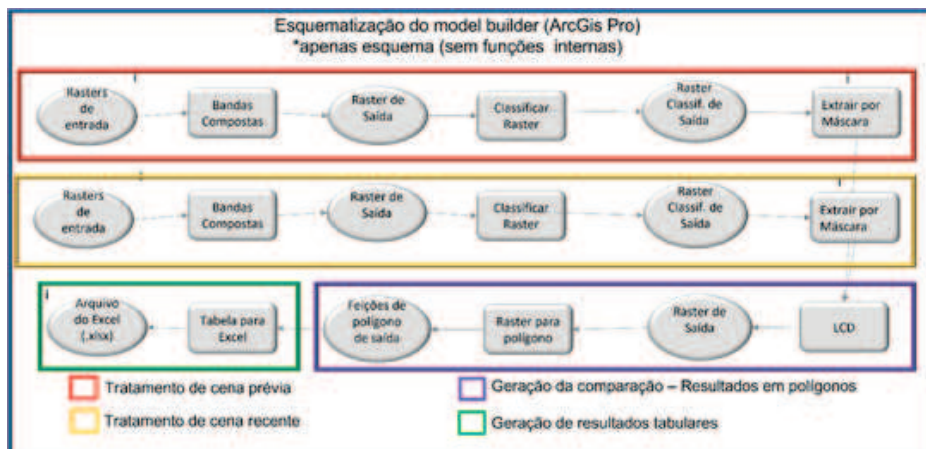


Figura 4 - Fluxograma da automação da metodologia



Figura 5 – Interface de usuário

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos foram considerados satisfatórios, em diversas imagens foram encontradas áreas de desmatamento dentro da floresta primária do bioma amazônico. Um exemplo de resultados é mostrado na Figura 6.

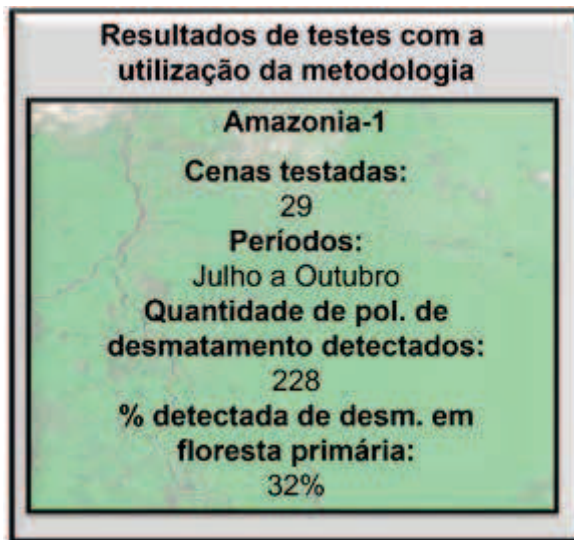


Figura 6 – resultados de testes da metodologia

Das 29 cenas testadas, no período de julho a outubro de 2021. Foram encontrados 228 polígonos, com mudança de categoria de floresta para não floresta, determinando a existência de desmatamento. 32% destes se encontram dentro da floresta primária definida pelo INPE. Estes resultados demonstram que é possível utilizar o satélite Amazonia-1 para identificação contínua do desmatamento da floresta primária no bioma amazônico.

Em testes mais específicos da metodologia em épocas, regiões e situações diferentes, foram selecionados alguns dos resultados mostrando a capacidade da metodologia na aplicação desejada.

O primeiro resultado mostrado na Figura 7 detectou e selecionou novos polígonos de desmatamento na cena em um curto período (junho a agosto de 2022), na região da divisa entre os estados do Amazonas com o Pará, apontando polígonos de diversos tamanhos, ambos na mesma cena, porém em regiões distintas.

Dessa forma, entende-se que a metodologia desenvolvida apresentou resultados promissores no que diz respeito à capacidade de identificar áreas de desmatamento no bioma amazônico a partir de técnicas de automáticas de classificação da cobertura da terra. Tais técnicas tem potencial para agilizar os processos de identificação de áreas com desmatamento em razão da capacidade do modelo utilizado de processarem uma grande quantidade de dados em um curto período de tempo. Entretanto, salienta-se a necessidade de trabalhos mais aprofundados que busquem avaliar os procedimentos apresentados frente a outras metodologias de identificação de desmatamento a fim de compreender, de modo mais detalhado, a qualidade dos resultados obtidos pelos dos procedimentos apresentados neste caso.

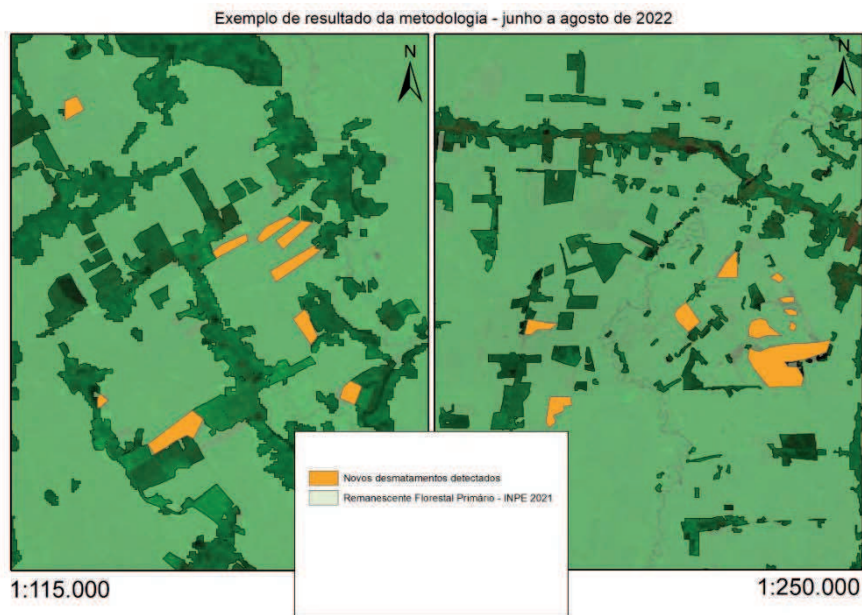


Figura 7 - Desmatamento detectado referente à imagem de 12 de agosto de 2022.

4 | CONCLUSÕES

Após passar por refinamentos e correções, a metodologia revelou sua capacidade de detectar e contabilizar novos desmatamentos de maneira eficaz. Além disso, podemos destacar que, ao utilizar uma tecnologia nacional como o Amazonia-1, é possível obter resultados plausíveis, confiáveis e precisos de forma rápida, com potencial para aprimorar os procedimentos atuais que utilizam a família Landsat e a outras metodologias adotadas por órgãos públicos.

REFERÊNCIAS

- Alves, D. S. (2001) "O processo de desmatamento na Amazônia", In: PARCERIAS ESTRATÉGICAS, n. 12
- Brasil, MMA. (2020) "Informações sobre o bioma amazônico", <https://www.mma.gov.br/biomas/amaz%C3%B4nia>
- Diniz, M. B. (2017) "Desmatamento e Ausência de Riqueza na Amazônia", In: Paka-Tatu, 1 ed. Belem.
- Diniz, M. B.; Junior, J. N. de O.; Neto, N. T.; Diniz, M. J. T. (2009) "Causas do desmatamento da Amazônia: uma aplicação do teste de causalidade de Granger acerca das principais fontes de desmatamento nos municípios da Amazônia Legal brasileira", In: Nova Economia Belo Horizonte, v. 19, n. 1.

Fearnside, P.M. (2020) “Desmatamento na Amazônia brasileira: História, índices e consequências”, In: *Destruição e Conservação da Floresta Amazônica*, v. 1. Editora do INPA, Manaus, Amazonas. http://inct-servamb.inpa.gov.br/publ_restritas/2019/Destruicao-v1/Cap-1-Desmatamento_historia-prova.pdf

Ferreira, N. C.; Ferreira JR, L. G.; Huete, A.; Miziara, F.; Ferreira, M. D. (2007) “Causa e efeitos dos desmatamentos na Amazônia: Uma análise a partir de dados orbitais, cartográficos e censitários”, In: *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Florianópolis, Brasil.

Gazoni, J. L.; Mota, J. A. (2010) “Fatores Político-Econômicos do Desmatamento na Amazônia Oriental”, In: *Sustentabilidade em debate*.

Mendes, E.C. (2021) “ANÁLISE ESPACIAL DO DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA”, Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Desenvolvimento Urbano e Regional na Amazônia – PPGPAM - da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará.

Nascimento, R. et al. (2009) “O algoritmo Support Vector Machines (SVM): avaliação da separação ótima de classes em imagens CCD-CBERS-2”, In: *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal, Brasil.

Riveiro, S.; Almeida, O.; Ávila, S. Oliveira, W. (2009) “Pecuária e desmatamento: uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia”, In: *Nova economia*, v. 19, n. 1.

TERRABRASILIS (2022) “Metadados”, In: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Divisão de Processamento de Imagens. <http://terrabilis.dpi.inpe.br/geonetwork/srv/eng/catalog.search#/home>

ASPECTOS MORFOLÓGICOS DAS SEMENTES E DESENVOLVIMENTO PÓS-SEMINAL DE *CEIBA SPECIOSA* (MALVACEAE)

Data de submissão: 13/11/2023

Data de aceite: 22/12/2023

Tathiana Elisa Masetto

Universidade Federal da Grande
Dourados, Faculdade de Ciências
Agrárias, Programa de Pós-Graduação em
Agronomia
Dourados – Mato Grosso do Sul, Brasil
<https://orcid.org/0000-0003-3203-6932>

Daiane Mugnol Dresch

Universidade Federal da Grande
Dourados, Faculdade de Ciências
Agrárias,
Dourados – Mato Grosso do Sul, Brasil
<https://orcid.org/0000-0003-2287-5783>

Rosilda Mara Mussury Franco Silva

Universidade Federal da Grande
Dourados, Faculdade de Ciências
Biológicas e Ambientais
Dourados – Mato Grosso do Sul, Brasil
<https://orcid.org/0000-0002-8961-9146>

Silvana de Paula Quintão Scalon

Universidade Federal da Grande
Dourados, Faculdade de Ciências
Agrárias, Programa de Pós-Graduação em
Agronomia
Dourados – Mato Grosso do Sul, Brasil
<https://orcid.org/0000-0003-2024-7695>

Leilaine Gomes da Rocha

Universidade Federal da Grande
Dourados, Faculdade de Ciências
Agrárias, Programa de Pós-Graduação em
Agronomia
Dourados – Mato Grosso do Sul, Brasil
<https://orcid.org/0000-0002-4824-6179>

RESUMO: O conhecimento acerca da morfometria de sementes e morfologia das plântulas é essencial para a conservação e a produção de mudas das espécies nativas. Objetivou-se com este trabalho caracterizar a morfologia das sementes, aspectos da fisiologia da germinação e ilustrar as etapas de formação da plântula de *Ceiba speciosa*. Para a caracterização das sementes, foram realizadas avaliações morfométricas; a dinâmica de absorção de água das sementes foi caracterizada e o processo de germinação foi descrito, compreendido desde o período da embebição das sementes até a emissão dos cotilédones e formação do primeiro protófilo. As sementes de *Ceiba speciosa* apresentam-se angulosas e com coloração castanho escuro. O embrião é cotiledonar, a radícula está localizada no ápice da semente e os cotilédones são membranáceos. As sementes apresentam

comprimento médio de 7,49 mm, massa de 0,0816 g, largura de 5,49 mm e espessura de 3,84 mm. A dinâmica de embebição das sementes em água ocorreu de acordo com o padrão trifásico; a plântula normal é faneroepígea e apresenta raiz principal axial e robusta, com hipocótilo verde claro, cilíndrico, longo e glabro.

PALAVRAS-CHAVE: Absorção de água, Morfometria de sementes, Germinação, Plântulas.

MORPHOLOGICAL ASPECTS OF THE SEEDS AND POST-SEMINAL DEVELOPMENTAL OF *CEIBA SPECIOSA* SEEDS (MALVACEAE)

ABSTRACT: Knowledge about seed morphometry and seedling morphology is essential for conservation and seedling production of native species. The objective of this work was to characterize the seed morphology, aspects of germination physiology and to illustrate the stages of seedling formation of *Ceiba speciosa*. For the characterization of the seeds, morphometric evaluations were performed; the dynamics of water absorption of the seeds was characterized, and the germination description was carried out, from the time of seed imbibition until the emission of the cotyledons and the formation of the first protophyll. The seeds of *Ceiba speciosa* are angular with dark brown coloration. The embryo has cotyledons distinguishing the hypocotyl-radicle axis, the radicle is located at the apex of the seed and the cotyledons are membranous. The seeds have an average length of 7.49 mm, mass of 0.0816 g, width of 5.49 mm and thickness of 3.84 mm. The dynamics of seed imbibition in water occurred according to the triphasic pattern of water uptake and the normal seedling is epigeal and presents axial main and robust, with light green hypocotyl, cylindrical, long and glabrous.

KEYWORDS: Water uptake, Seed morphometrics, Germination, Seedlings.

1 | INTRODUÇÃO

Ceiba speciosa (A.St.-Hil.) Ravenna pertence à família Malvaceae e é uma espécie arbórea nativa do Brasil, com distribuição geográfica nos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, regiões Sul e Sudeste do Brasil (Carvalho-Sobrinho, 2020), além de ocorrência na Floresta Estacional Semidecidual e Floresta Ombrófila na Argentina, Bolívia, Brasil, Peru e Paraguai (Gibbs; Semir, 2003). A árvore é ornamental, conhecida como paineira, de tronco bojudo, com floração muito vistosa, cujos pigmentos florais apresentam função antioxidante com aplicações industriais (Chen *et al.*, 2022).

O fruto é uma cápsula elipsóide, deiscente, glabra, coriácea, cujo endocarpo se desenvolve em uma massa branca com consistência sedosa e macia, que envolve muitas sementes pequenas e favorece a dispersão pelo vento à grande distância (Gibbs; Semir, 2003). *Ceiba speciosa* foi considerada uma árvore tolerante à poluição ambiental, constituindo um biomarcador importante para o monitoramento ambiental (Vasconcellos; Cunha; Callado, 2017). É recomendada para plantios destinados à recuperação de matas ciliares em locais sem inundação (Lazarotto; Muniz; Santos, 2010) e plantios heterogêneos em recomposição de áreas degradadas, devido ao seu rápido crescimento (Lorenzi, 2002). A espécie é propagada por sementes, cujo conhecimento acerca da morfometria e do

desenvolvimento pós-seminal são importantes para a conservação e o estabelecimento de critérios de qualidade na propagação da espécie.

A semente desempenha uma função fundamental na renovação, persistência e dispersão das populações de plantas (Colville; Pritchard, 2019). Sobrevive somente com a própria estrutura após a dispersão e, no período de transição entre a germinação e o crescimento de plântulas, em busca de oportunidades ambientais para sobreviver (Bradford, 2018). Nesse sentido, as características de propágulos e plântulas são parâmetros importantes para a manutenção da biodiversidade, permitindo identificar as estratégias de germinação de sementes e de emergência de plântulas (Souza; Souza; Panobianco, 2018; Colville; Pritchard, 2019).

Particularmente, para as sementes de *Ceiba speciosa*, vale destacar a importância dos estudos acerca da morfometria das sementes, cuja escassez sobre o manejo de coleta e pós-coleta de sementes influencia diretamente na avaliação da qualidade das sementes (Lazarotto; Muniz; Santos, 2010). Há que se ressaltar ainda que, a longa duração do período de germinação e/ou o lento desenvolvimento inicial das plântulas, são comportamentos inerentes às espécies, pouco conhecidos em sementes de espécies nativas e, portanto, muitas vezes não são considerados no planejamento e no processo de produção (Nascimento, 2012; Silva *et al.*, 2021).

O objetivo deste trabalho foi avaliar as características físicas e fisiológicas das sementes e o desenvolvimento pós-seminal de *Ceiba speciosa*.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

As sementes de *Ceiba speciosa* (A.St.-Hil.) Ravenna foram extraídas de frutos que foram monitorados até a abertura espontânea, quando então foram coletados diretamente de 10 matrizes localizadas em fragmentos de vegetação em Santo André-São Paulo (23° 39' 50" S 46° 32' 16" O). O beneficiamento foi realizado manualmente, com a remoção das sementes entre os tricomas e as sementes foram avaliadas imediatamente após a dispersão. A determinação do teor de água das sementes foi realizada a 105 ± 3 °C por 24 h, pelo método gravimétrico da estufa (BRASIL, 2009), em quatro repetições com cinco gramas de sementes.

As características morfométricas das sementes foram determinadas a partir de uma amostra aleatória de 100 sementes, sendo mensurados o comprimento, largura e espessura, com auxílio de paquímetro digital e os resultados foram expressos em mm. Considerou-se como comprimento a medida do ápice à base da semente e a largura e espessura, à região mediana da semente. A massa de sementes foi determinada individualmente com auxílio de balança analítica de precisão (0,0001 g) e os resultados foram expressos em gramas.

Para a determinação da curva de absorção de água pelas sementes foram utilizadas quatro repetições com 10 sementes cada. Após a determinação das massas em balança

analítica (0,0001 g), as sementes foram posicionadas sobre papel Germitest® umedecido com água destilada, empregando-se a quantidade de água referente a 2,5 vezes a massa do papel seco, no interior de caixas plásticas do tipo gerbox. As sementes foram mantidas em B.O.D. reguladas na temperatura constante de 25 °C e luz branca constante (Lemes; Lopes, 2012). A cada hora, as sementes foram removidas do gerbox, secas superficialmente e pesadas em balança analítica (0,0001 g), consecutivamente, até a protrusão da raiz primária. Após, procedeu-se mais três pesagens.

Para a descrição das características da germinação, quatro repetições com 25 sementes foram posicionadas sobre papel Germitest® umedecido com água destilada na quantidade equivalente a 2,5 vezes a massa do papel seco, no interior de caixas plásticas do tipo gerbox. As caixas com as sementes foram acondicionadas em câmaras do tipo B.O.D. com luz branca e temperatura constante de 25 °C (Lemes; Lopes, 2012). As avaliações foram realizadas no período compreendido desde a embebição em água pela semente até a emissão dos cotilédones e a formação do primeiro protófilo. Foi realizada uma análise descritiva das características físicas das sementes e do desenvolvimento pós-seminal das plântulas. Os dados de morfometria de sementes foram analisados por meio de distribuição de frequência.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

As sementes apresentaram 13,4% de teor de água após a dispersão; essa faixa de teor de água encontra-se de acordo com Lazarotto *et al.* (2011), que também observaram que as sementes de *Ceiba speciosa* coletadas na região Sul do Brasil apresentaram teores de água em torno de 11,8% e 15,5 %.

As sementes de *C. speciosa* apresentam-se numerosas, pequenas, angulosas (Figs. 1A e 1B) e envolvidas em tricomas. A presença de tricomas lanuginosos envolvendo as sementes é uma característica importante para a taxonomia do gênero *Ceiba* – Malvaceae (Gómez-Maqueo; Gamboa-deBuen, 2022). O tegumento apresenta textura firme, típico em espécies que apresentam deiscência natural dos frutos. A testa apresenta-se lisa, porém com pequenas pontuações castanho, não facilmente visíveis e aderida por integumento lanuginoso (Barroso *et al.*, 2004). O tegumento se apresenta na coloração castanho escuro. Com relação ao hilo, apresenta-se saliente, de tamanho grande correspondendo entre 60 a 70% da semente e a micrópila é visível (Fig. 1B). A micrópila é obscura e a rafe é proeminente e mais escura do que o resto do tegumento.

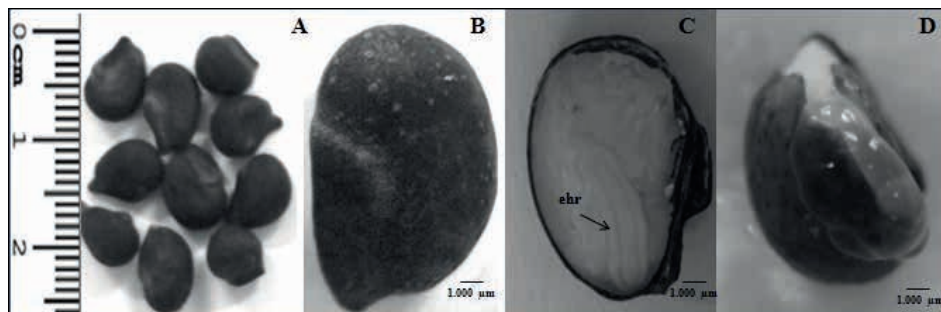


Figura 1. Aspectos morfológicos de sementes de *Ceiba speciosa*. **A.** morfologia externa; **B.** detalhe do tegumento; **C.** aspecto interno; **D.** ruptura do tegumento. Legenda: ehr – eixo hipocótilo-radícula.

Internamente, a semente é constituída por um embrião desenvolvido, que ocupa toda a cavidade seminal e se apresenta como massa, distinguindo-se o eixo hipocótilo-radícula (Fig. 1C). A radícula é supera, ou seja, localizada no ápice da semente e os cotilédones são membranáceos. Quanto à posição que ocupa na semente, o embrião é lateral, desenvolvido, levemente curvado, ocupando o eixo central da semente (Fig. 1C). Os cotilédones mantêm-se dobrados e protegidos por tecido e em contato com a água, ocorre presença de mucilagem (Fig. 1D). O embrião pode ser classificado como invaginado, ou seja, entre o eixo hipocótilo-radícula e os cotilédones há uma delimitação que se manifesta pela base invaginada; o embrião é classificado como plicado, com os cotilédones dobrados e com coloração esbranquiçada (Fig. 1C) (Barroso *et al.*, 2004).

As sementes apresentaram entre si, extensa variabilidade biométrica. Pela distribuição de frequência, verificou-se que as sementes apresentam assimetria à esquerda, comprimento médio de 7,49 mm, com valor máximo de 8,39 mm e mínimo de 6,4 mm (Fig. 2A).

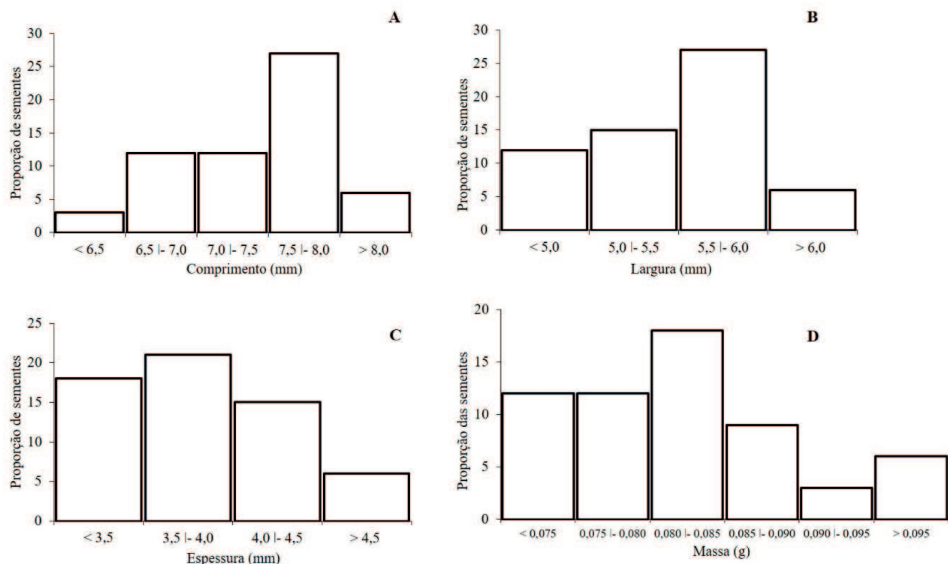


Figura 2. Distribuição de frequência do tamanho de sementes de *Ceiba speciosa*. **A.** comprimento; **B.** largura; **C.** espessura; **D.** massa.

Os valores médios de largura e de espessura foram de 5,49 mm (Fig. 2B) e de 3,84 mm (Fig. 2C), respectivamente. Essas observações são semelhantes às relatadas por Roveri Neto; Paula (2017) para sementes de *Ceiba speciosa* provenientes de matrizes localizadas em Jaboticabal – estado de São Paulo, que apresentaram diâmetro e comprimento médios de 7,64 mm e 5,79 mm, respectivamente, confirmando a alta variabilidade entre as árvores matrizes estudadas à semelhança do observado para caracteres biométricos de frutos e sementes. A massa média da semente fresca foi de 0,0816 g com máximo de 0,0965g e mínimo de 0,072g (Fig. 2D). Resultados semelhantes foram encontrados por Afonso *et al.* (2017) em sementes de *C. speciosa* provenientes de Alta Floresta, estado de Mato Grosso, que apresentaram massa média de 0,073 g e máxima de 0,121 g.

A dinâmica da absorção de água pelas sementes de *C. speciosa* ocorreu de acordo com o padrão trifásico, proposto por Bewley; Black (1994). A fase I é caracterizada por ganho de massa e aumento da umidade bastante significativo nas primeiras horas de embebição (Fig. 3). Essa fase é considerada um processo físico, pois independe da atividade metabólica das sementes, pode ocorrer em sementes viáveis ou não, ou seja, desde que as sementes não apresentem dureza tegumentar, como é o caso de *C. speciosa*, e quando não há restrição da disponibilidade hídrica é possível identificar a entrada das sementes na fase I da germinação.

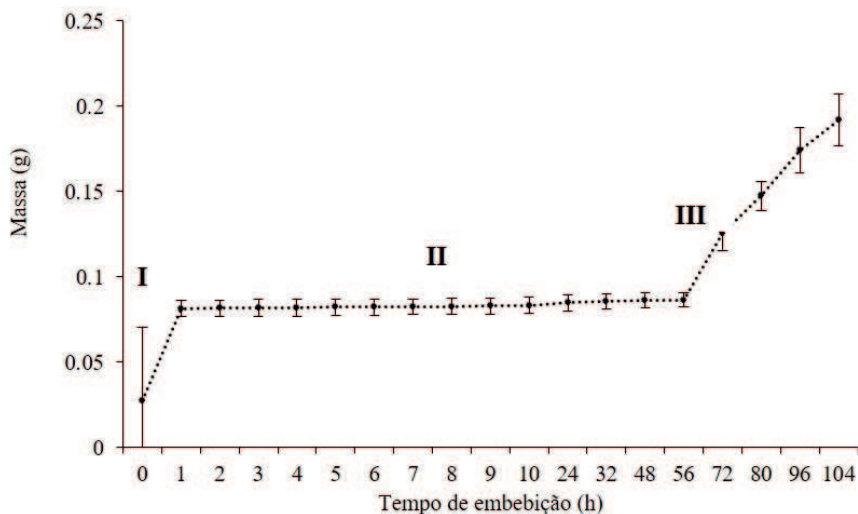


Figura 3. Curva de absorção de água de sementes de *Ceiba speciosa*. I – fase inicial de absorção rápida de água; II – taxa de embebição relativamente lenta e homogênea; III – protrusão da raiz e retomada do crescimento do eixo embrionário. Barras são intervalos de confiança ao nível de 5% de probabilidade.

A fase II ocorreu de forma constante e mais prolongada, com duração de 56 horas, caracterizada pela absorção de água pelas sementes de forma mais lenta. Durante a fase II, o teor de água das sementes é constante e os processos metabólicos, como o reparo de membranas e DNA, iniciação da síntese de proteínas e atividade mitocondrial determinam o preparo para a emergência da raiz primária até o final desta fase (Waterworth; Bray; West, 2019).

Após 72 horas de embebição, observou-se a retomada do aumento de massa, determinando o início da fase III, caracterizada pela protrusão radicular (Fig. 3). Durante a última fase ocorre divisão celular e alongamento, maior absorção de água conforme o estabelecimento da plântula, condicionado pela utilização das reservas armazenadas pelas sementes (Bewley; Black, 1994).

A fase I é caracterizada por reações físicas e químicas, enquanto as fases II e III são associadas à mobilização de reservas e reativação do metabolismo (Macovei *et al.*, 2017, Waterworth; Bray; West, 2019). O comportamento da absorção de água pelas sementes de *C. speciosa* indica que as sementes não apresentam dormência, assim como observado por Roveri Neto; Paula (2017), embora os autores afirmem que a velocidade do processo germinativo é distinta entre as matrizes desta espécie, e pode estar associado a problemas na polinização e fertilização, por exemplo, com a ocorrência de autofecundação. Por outro lado, as sementes de *Ceiba glaziovii* (kuntze) k. Schun. Devem ser submetidas à escarificação química com ácido sulfúrico ou imersas em água para a superação de dormência tegumentar (Nascimento, 2012).

A germinação das sementes de *Ceiba speciosa* é epígea e iniciou-se entre o quinto e sexto dia após a semeadura, pelo rompimento dos tegumentos e protrusão da raiz primária com coloração branca e brilhante (Fig. 4A, 4B e 4C). O hipocótilo espesso (Lobo *et al.*, 2014) se projeta juntamente com a raiz primária (Fig. 4D e 4E). Os cotilédones emergem e se expandem entre o oitavo dia, após um período de crescimento simultâneo do hipocótilo e da raiz primária, quando surgem as raízes secundárias (Fig. 4F e 4G). A plântula normal (Fig. 4H e 4I) é fanerocotiledonar (Duke, 1969), apresentando raiz principal axial e robusta, com raízes secundárias numerosas e bem desenvolvidas, de coloração pardo-esbranquiçada. O hipocótilo é verde claro, cilíndrico, longo e glabro; a plúmula é reduzida e pouco distinguível, com cotilédones foliáceos, cordiformes, longo-peciolados (Duke, 1969), glabros, verdes e com nervura central bem marcada (Barroso *et al.*, 2004).

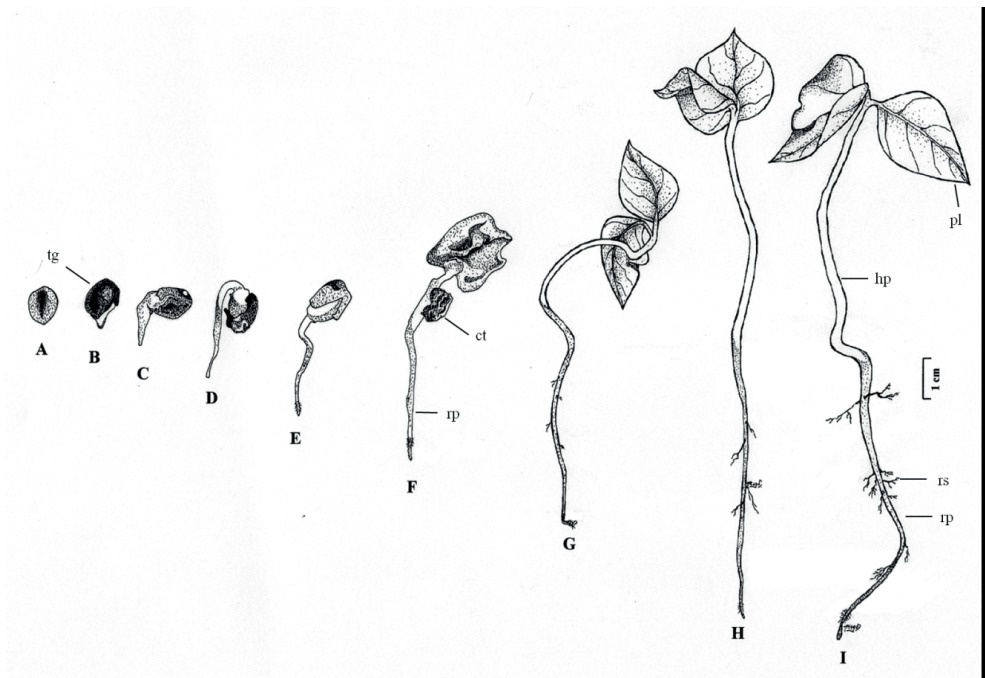


Figura 4. Desenvolvimento pós-seminal de *Ceiba speciosa*. **A.** semente; **B.** protrusão da raiz primária; **C a I** – estágios de desenvolvimento da plântula; tg – tegumento; ct – cotilédones; rp – raiz primária; pl – plúmula; hp – hipocótilo; rs – raízes secundárias. Ilustração: Dolacio, T.

4 | CONCLUSÕES

1. As sementes de *Ceiba speciosa* apresentam-se angulosas com coloração castanho escuro, cujo embrião é cotiledonar distinguindo-se o eixo hipocótilo-radícula. A radícula é súpera e os cotilédones são membranáceos. O comprimento médio das sementes é de 7,49 mm, massa de 0,0816 g, largura de 5,49 mm e espessura de 3,84 mm.

2. A dinâmica de absorção em água ocorre de acordo com o padrão trifásico; a germinação é epígea e o hipocótilo se projeta juntamente com a raiz primária. A plântula normal é fanerocotiledonar e apresenta raiz principal axial e robusta, com hipocótilo verde claro, cilíndrico, longo e glabro.

REFERÊNCIAS

AFONSO, S.; PEDRI, E. C.; ROCHA, V.; BIAZON, I. C.; ROSSI, A. A. Biometria de frutos e sementes de *Ceiba speciosa*. **Enciclopédia Biosfera**, v. 14, n. 26, p. 850-859, 2017.

BARROSO, G. M.; MORIM, M. P.; PEIXOTO, A. L.; ICHASO, C. L. F. **Frutos e sementes: morfologia aplicada à sistemática de dicotiledôneas**. Viçosa: Ed. UFV, 1999.

BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. 2ed. Springer Science & Business Media, 1994.

BRADFORD, K. J. Interpreting biological variation: seeds, populations and sensitivity thresholds. **Seed Science Research**, v. 28, n. 3, p. 158-167, 2018.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Mapa/ACS, p. 395, 2009.

CARVALHO-SOBRINHO, J. G. 2020. *Ceiba* in Flora e Funga do Brasil. **Jardim Botânico do Rio de Janeiro**. Disponível em: <<https://floradobrasil2020.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB9037>>

CHEN, B.; MISRANI, A.; LONG, C.; HE, Z.; CHEN, K.; YANG, L. Pigment of *Ceiba speciosa* (A. St.-Hil) flowers: separation, extraction, purification and antioxidant activity. **Molecules**, v. 27, n. 11, p. 3555, 2022.

COLVILLE, L.; PRITCHARD, H. W. Seed life span and food security. **New Phytologist**, v. 224, n. 2, p. 557-562, 2019.

DUKE, J. A. On tropical tree seedlings i. seeds, seedlings, systems, and systematics. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, v. 56, n. 2, p. 125-161, 1969.

GIBBS, P.; SEMIR, J. A taxonomic revision of the genus *Ceiba* Mill. (Bombacaceae). **Anales del jardin Botánico de Madrid**, v. 60, n. 2, p. 259-300, 2003.

GÓMEZ-MAQUEO, X.; GAMBOA-DEBUEN, A. The biology of the genus *Ceiba*, a potential source for sustainable production of natural fiber. **Plants**, v. 11, n. 4, p. 521, 2022.

LAZAROTTO, M.; MUNIZ, M. F. B.; SANTOS, A. F. dos. Detection, transmission, pathogenicity and chemical treatment of fungi in *Ceiba speciosa* seeds. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 36, n. 2, p. 134-139, 2010.

LAZAROTTO, M.; PIVETA, G.; MUNIZ, M. F. B.; REINIGER, L. R. S. 2011. Adequação do teste de tetrazólio para avaliação da qualidade de sementes de *Ceiba speciosa*. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 4, p. 1243-1250, 2011.

LEMES, E. Q.; LOPES, J. C. Temperaturas cardinais para germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de Paineira. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 94, p. 179-186, 2012.

LOBO, G. A.; SANTANA, D. G. D.; SALOMÃO, A. N.; REHBEIN, L. S.; WIELEWICKI, A. P. A technological approach to the morphofunctional classification of seedlings of 50 Brazilian forest species. **Journal of Seed Science**, v. 36, n. 1, p. 087-093, 2014.

LORENZI, H. *Árvores brasileiras, manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. 2 ed. Nova Odessa, São Paulo: Instituto Plantarum, 2002.

MACOVEI, A.; PAGANO, A.; LEONETTI, P.; CARBONERA, D.; BALESTRAZZI, A.; ARAÚJO, S. S. Systems biology and genome-wide approaches to unveil the molecular players involved in the pre-germinative metabolism: implications on seed technology traits. **Plant Cell Reports**, v. 36, p. 669-688, 2017.

NASCIMENTO, I. L. D. Superação da dormência em sementes de paineira-branca. **Cerne**, v. 18, n. 2, p. 285-291, 2012.

ROVERI NETO, A.; PAULA, R. C. Variabilidade entre árvores matrizes de *Ceiba speciosa* St. Hil para características de frutos e sementes. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 2, p. 318-327, 2017.

SILVA, J. H. C. S.; AZEREDO, G. A. de; TARGINO, V. A.; ARAUJO COSTA, P. M. Germinação de sementes de *Ceiba speciosa* coletadas em Brejo de Altitude. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 16, n. 1, p. 97-102, 2021.

SOUZA, M. T.; SOUZA, M. T.; PANOBIANCO, M. Morphological characterization of fruit, seed and seedling, and seed germination test of *Campomanesia guazumifolia*. **Journal of Seed Science**, v. 40, n. 1, p. 075-081, 2018.

VASCONCELLOS, T. J.; CUNHA, M. da; CALLADO, C. H. A comparative study of cambium histology of *Ceiba speciosa* (A. St.-Hil.) Ravenna (*Malvaceae*) under urban pollution. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 13, p. 12049-12062, 2017.

WATERWORTH, W. M.; BRAY, C. M.; WEST, C. E. 2019. Seeds and the art of genome maintenance. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, n. 706, p. 1-11, 2019.

RELACIONAMENTO DA POPULAÇÃO DE PLANTAS, MANEJO QUÍMICO E ÉPOCA DE PLANTIO NO PROGRESSO TEMPORAL DA MANCHA-DE-RAMULARIA DO ALGODOEIRO

Data de submissão: 07/11/2023

Data de aceite: 22/12/2023

Luciano Fernando Marchioro

Instituto Federal Goiano Câmpus Urutaí
Urutaí – GO
<http://lattes.cnpq.br/6053048329175485>

Francisco Ítalo Ferreira Fernandes

Instituto Federal Goiano Câmpus Urutaí
Urutaí – GO

Matheus Fernandes Vaz Machado

Instituto Federal Goiano Câmpus Urutaí
Urutaí – GO
<http://lattes.cnpq.br/3733231832161399>

Natalia Bortolini Prado

Instituto Federal Goiano Câmpus Urutaí
Urutaí – GO
<http://lattes.cnpq.br/1413683624618577>

Gabriel Felipe de Sousa Meireles

Instituto Federal Goiano Câmpus Urutaí
Urutaí – GO
<http://lattes.cnpq.br/0690448451740880>

Isaque Rodrigues Neves

Instituto Federal Goiano Câmpus Urutaí
Urutaí – GO
<http://lattes.cnpq.br/4198759305706071>

Rafaela David Nunes

Instituto Federal Goiano Câmpus Urutaí
Urutaí – GO
<http://lattes.cnpq.br/2028055643102130>

Carlos Gabriel Xavier Dourado

Instituto Federal Goiano Câmpus Urutaí
Urutaí – GO
<http://lattes.cnpq.br/2803467745585910>

Erica Fernandes Leão Araújo

Instituto Federal Goiano Câmpus Urutaí
Urutaí – GO
<http://lattes.cnpq.br/9698305469997789>

Gleina Costa Silva Alves

Instituto Federal Goiano Câmpus Urutaí
Urutaí – GO
<http://lattes.cnpq.br/8546143062410103>

Milton Luiz da Paz Lima

Instituto Federal Goiano Câmpus Urutaí
Urutaí – GO
<http://lattes.cnpq.br/5855441591915163>

RESUMO: A lavoura do algodoeiro (*Gossypium hirsutum*) apresenta inúmeras doenças que acometem a atividade fotossintética como a mancha-de-ramulária (MR) causando expressivas perdas na produtividade. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes populações de plantas, controle químico e épocas de semeadura na severidade da mancha-de-ramulária (MR) da cultura do algodoeiro.

O experimento foi realizado com a cultivar TMG 47B2RF, na fazenda Progresso na safra 2022, em Primavera do Leste, MT. O delineamento utilizado foi em blocos ao acaso, com quatro tratamentos (quatro densidades de plantas), e com quatro repetições e testemunhas pareadas. O fator população de plantas constituiu-se de i) 66,666 plantas ha^{-1} ; ii) 88,888 plantas ha^{-1} e iii) 111.111 plantas ha^{-1} ; 4) 133,333 plantas ha^{-1} . O fator controle manejo químico (sete aplicações) i) com manejo e ii) sem manejo com fungicidas. O fator época de plantio foi realizado i) plantio na primeira quinzena de janeiro, ii) plantio na segunda quinzena de fevereiro. Avaliou-se via escala diagramática a severidade (%) da MR aos 96, 103, 116, 122, 129, 136 e 143 dias após o plantio (DAP). Calculou-se os parâmetros área abaixo da curva de progresso da MR (AACPMR) e taxa de infecção da MR (TIMR). Realizou-se testes de hipótese e análises multivariadas para as diferentes variáveis respostas, utilizando o pacote livre computacional R. A severidade da MR do algodoeiro diminuíram com o aumento da densidade de plantio de plantas (plantas metros $^{-1}$). A AP foi maior nos plantios mais adensados (estiolamento). A epidemia de MR foi maior em plantas de algodoeiro cultivadas em janeiro do que em fevereiro. A aplicação com fungicidas reduziu a severidade da MR de 37,69% de severidade apresentada na testemunha para 12,14% de severidade no programa de aplicação de fungicidas.

PALAVRAS-CHAVE: População, Severidade, Curva de Progresso, Produtividade,.

RELATIONSHIP OF PLANT POPULATION, CHEMICAL MANAGEMENT AND PLANTING SEASON IN THE TEMPORAL PROGRESS OF COTTON RAMULARIA SPOT

ABSTRACT: The cotton crop (*Gossypium hirsutum*) presents numerous diseases that affect photosynthetic activity, such as ramularia leaf spot (RLS), causing significant losses in productivity. The objective of this work was to evaluate the effect of different plant populations, chemical control and sowing times on the severity of ramularia leaf spot (RLS) in cotton crops. The experiment was carried out with the cultivar TMG 47B2RF, on the Progresso farm in the 2022 harvest, in Primavera do Leste, MT. The design used was in randomized blocks, with four treatments (four plant densities), and with four replications and paired controls. The plant population factor consisted of i) 66,666 plants ha^{-1} ; ii) 88,888 plants ha^{-1} and iii) 111,111 plants ha^{-1} ; 4) 133,333 plants ha^{-1} . The control factor chemical management (seven applications) i) with management and ii) without management with fungicides. The planting time factor was carried out i) planting in the first half of January, ii) planting in the second half of February. The severity (%) of MR was evaluated via a diagrammatic scale at 96, 103, 116, 122, 129, 136 and 143 days after planting (DAP). The parameters area under degree curve progress RLS (AUDCPRLS) were calculated and RLS infection rate (RLSIR). Hypothesis tests and multivariate analyzes were carried out for the different response variables, using the free computational package R. The severity of cotton RLS decreased with the increase in plant planting density (plants meters $^{-1}$). The RLS epidemic was greater in cotton plants grown in January than in February. The application with fungicides reduced the severity of RLS by 37.69% severity presented in the control for 12.14% severity in the fungicide application program.

KEYWORDS: Population, Severity, Progress Curve.

INTRODUÇÃO

O cultivo do algodão (*Gossypium hirsutum* L. - Malvaceae) gera empregos e grande relevância para a economia brasileira. Estima-se que a área cultivada no estado do MT deverá crescer cerca de 22,43 % na safra 2021/22, chegando a 1,18 milhão de ha, porém a produtividade média do algodão em caroço apresentará um recuo de 3,67% comparada com a safra anterior, sendo estimada em 4024 kg ha⁻¹. A baixa na projeção do rendimento médio é reflexo de estiagens que afetaram o Estado nos meses de abril e maio de 2022, somada a perdas relatadas por registros de geadas em algumas lavouras da região sul do MT (IMEA, 2022).

Morello *et al.* (2006) apontaram que para o desenvolvimento adequado de cultivares de algodoeiro em condições de Cerrado são necessárias inúmeras boas características relacionadas à produção como: sanidade e qualidade da fibra, as quais conferem potencialização do uso de cultivares. A produtividade potencial superior a 4500 kg.ha⁻¹, resistência à doenças (viroses, ramulose, bacteriose, complexo-fusarium-nematoide, alternariose, mancha-ramulária e mancha-de-estemfilium), rendimento de fibra superior a 40 %, resistência da fibra, finura na faixa de 3,9 a 4,2 (micronaire, MIC), fibras de comprimento médio ao longo (30 – 34 mm), ciclo médio (130 a 160 dias), arquitetura favorável à mecanização e ao plantio adensado, estabilidade produtiva ao longo dos anos, resposta à melhoria do ambiente produtivo, resistência ao acamamento, capulhos com boa retenção entre outras.

A mancha-de-ramulária (complexo *Ramularia gossypii* (Speg.) Cif., *Ramulariopsis gossypii* (Speg)U. Braun e *Ramulariopsis pseudoglycines* Videira, Crous & U. Braun), costumava ocorrer ao final do ciclo da cultura, porém no decorrer das safras, a incidência da doença surge cada ano mais precocemente, aumentando os cuidados com a escolhas de tipos de moléculas de fungicidas e manejo adequado, pois pode chegar a reduzir em até 75 % a produção de pluma em caroço nas lavouras do MT (GILIO, 2014). Classificada com uma doença policíclica, sendo o inóculo primário de *Ramularia gossypii* provenientes de conídios ou ascósporos que se formam sobre restos da cultura (sobrevivência) ou em plantas de algodão perenizadas. Infecções secundárias são causadas pela dispersão do inóculo, onde por meio do vento, chuva, máquinas, temos o crescimento das infecções nas folhas (SILVA *et al.*, 2013).

Atualmente para o manejo da mancha-de-ramulária no algodoeiro, é realizado a integração de táticas representadas pelo uso de cultivares resistentes, rotação de cultura, manejo sanitário, fungicidas, produtos biológicos (SILVA *et al.*, 2006), porém no campo o controle tem por base a busca por semeaduras de menos adensadas, e uso de diferentes moléculas de fungicidas (SILVA *et al.*, 2013).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes populações de plantas, controle químico e épocas de semeadura na severidade da mancha-de-ramulária do

algodoeiro.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização e semeadura

Na fazenda Progresso, localizada na zona rural do município de Primavera do Leste, MT, foi instalado um experimento com a cultivar de algodão TMG 47B2RF tendo como características, ciclo médio tardio, tolerância média a mancha-de-ramulária, a população final de plantas sugerida de 7 a 9 plantas, sendo indicado à áreas de alta fertilidade. As coordenadas geodésicas são latitude: 14°99'48,6" S e longitude: 54°13'28,4" W e elevação 684 m.

O algodão foi semeado aos 09/01/2022 (primeira semeadura) e 08/02/2022 (segunda semeadura). Foram utilizadas 40 sementes por metro linear, espaçadas de 90 cm entre as linhas. A realização da semeadura foi manual para que fosse alcançado a distribuição de 40 sementes metro⁻¹.

Aos 10 dias após a emergência (DAE), foi realizado o desbaste das plantas de algodão, para que fosse alcançada a população final correspondente a cada tratamento, com o mínimo coeficiente de variação possível, mantendo uniformidade e regularidade no espaçamento de plantas na linha de plantio.

Condições experimentais

O delineamento utilizado foi em blocos ao acaso, organizado num fatorial 2 x 2 x 4 (época de plantio X aplicação de fungicidas X Densidade), com quatro tratamentos e quatro repetições com testemunhas pareadas. O fator população de plantas constituiu-se de i) 66,666 mil plantas ha⁻¹; ii) 88,888 mil plantas ha⁻¹ e iii) 111,111 mil plantas ha⁻¹; 4) 133,333 mil plantas ha⁻¹.

O fator controle utilizando padrão fazenda para uso de fungicidas para controle das doenças procedeu-se através de sete aplicações: i) com manejo e ii) sem manejo com fungicida (Tab. 1). As dosagens, número de aplicações, momento de aplicação [dias após a semeadura (DAS)] das aplicações, ingredientes ativos puros e misturas aplicadas nas diferentes populações de plantas podem ser resumidos na Tabela 1. As dosagens e o tipos de i.a. nas duas épocas de semeadura foram os mesmos, sendo realizados exatamente aos 40, 55, 70, 85, 100, 115 e 130 (DAS), antes do início dos primeiros sintomas de aparecimento de doenças na cultura do algodoeiro (Tab. 1). Cada aplicação foi realizada com auxílio de um pulverizador costal de pressão constante, dotado de cilindro de CO₂ e conjunto para aplicação em linha composto de seis bicos tipo leque AXI 110-015 (verde), com pressão constante de 4,8 kgf cm⁻² o que proporcionou uma diluição de 150 L de calda

por hectare.

O fator época de semeadura foi representado por: i) semeadura na primeira quinzena de janeiro [09/01/2022] e ii) semeadura na segunda quinzena de fevereiro [08/02/2022].

Cada parcela experimental foi constituída por quatro linhas de algodão (cultivar TMG 47B2RF) com seis metros de comprimento totalizando 21,6 m² (Tab. 1).

Logo ao início do estágio vegetativo V¹ (MARUR e RUANO, 2003), foi realizado o desbaste manual para estabelecer a população final de cada tratamento nas quantidades de 66.666 mil, 88.888 mil, 111.111 mil e 133.333 mil plantas ha⁻¹.

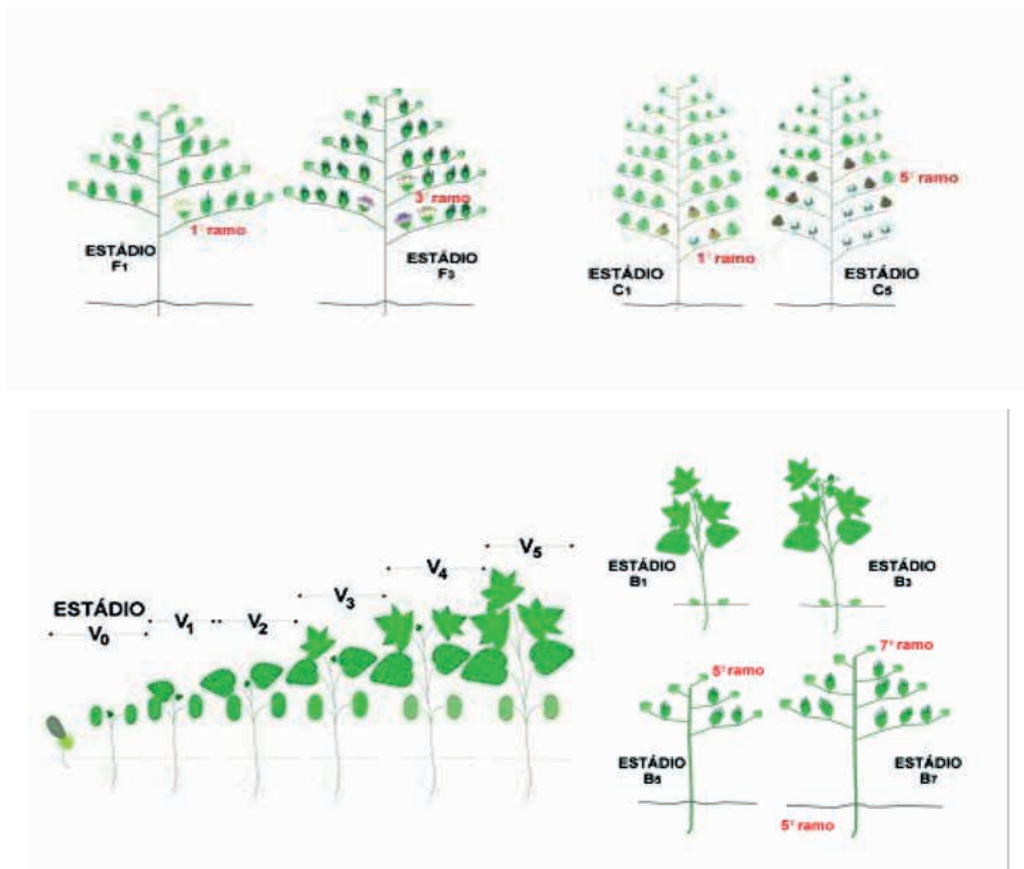


Figura 1. Estádios fenológicos do algodoeiro (MARUR e RUANO, 2001).

Número de aplicações	Momento de aplicação (dias após a emergência DAE)	Tipos de ingredientes ativos e produtos comerciais	Dosagens (L ha ⁻¹)	Testemunha pareada
1 ^a	40 DAE	fluxapiroxade+piraclostrobina (Orkestra)	0,3	Sem aplicação de fungicidas
2 ^a	55 DAE	azoxistrobina+mancozeb+tebuconazol (Tridium)	1,5	
3 ^a	70 DAE	bixafen+protiokonazol+trifloxistrobina (Fox Xpro) e mancozebe (Mancozebe)	0,5 + 1,5	
4 ^a	85 DAE	hidróxido de fentina (Mertim)	0,5	
5 ^a	100 DAE	bixafen+protiokonazol+trifloxistrobina (Fox Xpro) e mancozebe (Mancozebe)	0,5 + 1,5	
6 ^a	115 DAE	hidróxido de fentina (Mertim)	0,5	
7 ^a	130 DAE	Difenoconazol (Score)	0,5	

Tabela 1. Número de dosagens, dias de aplicações, fungicidas aplicados e dosagens aplicadas nas diferentes populações de algodoeiro cultivar TMG 47B2RF.

Manejo experimental

Os tratos culturais representados pela aplicação de herbicidas e inseticidas foram realizados baseados nos levantamentos semanais, seguindo as recomendações de uso de cada produto aprovado pelo Ministério da Agricultura (AGROFIT, 2023) para o algodoeiro. Para a aplicação de fungicidas adotou-se um manejo pré-estabelecido nas semeaduras comerciais regionais. A aplicação de regulador de crescimento foi realizada de acordo com monitoramentos semanais.

Para ambas as épocas de semeadura utilizou-se 180 kg de MAP na linha de semeadura. Foram realizadas três adubações de cobertura com N aos 25, 45 e 60 dias após a emergência (DAE) das plantas utilizando 120 kg de sulfato de amônio [(NH₄)₂SO₄]. Também foi realizada cobertura com cloreto de potássio [KCl] utilizando 250 kg de KCl aos 40 DAE.

A dosagem de regulador de crescimento (L ha⁻¹) na primeira semeadura foi realizada de acordo com o monitoramento semanal, onde na densidade T1 (66,666 mil plantas ha⁻¹) o valor de 1,25 L ha⁻¹, T2 (88,888 mil plantas ha⁻¹) o valor de 1,25 L ha⁻¹, T3 (111,111 mil plantas ha⁻¹) o valor de 1,4 L ha⁻¹ e T4 (133,133 mil plantas ha⁻¹) o valor de 1,4 L ha⁻¹. Na segunda semeadura a dosagem de regulador de crescimento (L ha⁻¹) foi também realizada de acordo com monitoramentos semanais, onde para todas as densidade de semeadura aplicou-se 0,75 L ha⁻¹. Foi estabelecido o mesmo manejo de herbicida para as duas épocas de semeadura.

Ingrediente ativo	Época de aplicação e Dias após a emergência (DAE)	Dose L ha⁻¹ ou Kg ha⁻¹
Glufosinato	Dessecação	2,5
Acefato	Dessecação	1
Oleo	Dessecação	0,5
Pré emergência		
Clomazone	Pré emergência	0,8
Trifluralina	Pré emergência	2
Bifentrina	Pré emergência	0,60
Oleo	Pré emergência	1
Glufosinato	14 DAE	3
Cletodim	14 DAE	0,8
Cletodim	30 DAE	0,8
Haloxifop	30 DAE	0,3

Tabela 2. Ingredientes ativos e dosagens dos herbicidas aplicados na dessecação, pré-emergência (DAE), 14 DAE e 30 DAE na área experimental do algodoeiro cultivar TMG 47B2RF.

Para controle de pragas foram utilizados os seguintes produtos. Aplicados após o monitoramento, e detectada a necessidade da aplicação.

Ingredientes ativos e produtos comerciais	Dias após a emergência (DAE)	Dose L ha⁻¹ ou Kg ha⁻¹
bifentrina (Bifentrina)	14	0,60
acetamiprido (Acetamiprid CCAB 200SP II)	14	0,10
piriproxfem (Tiger 100 EC)	21	0,15
fipronil (Fipronil Nortox)	21	1,00
clorantianiliprole (Premio)	21	0,15
flubendiamida (Belt)	30	0,12
espiromesifeno (Oberon)	30	0,60
acefato (Perito 970 SG)	30	1,00
clorantianiliprole (Premio)	40	0,15
ciantraniliprole (Benevia)	40	0,60
acetamiprido+bifentrina(Sperto)	55	0,25
acefato (Perito 970 SG)	70	1,00
propargito (Omite 720 EC)	70	0,15
malationa (Malathion UL)	90	1,00
etiprole (Curbix 200 SC)	100	1,00
acetamiprido (Acetamiprid CCAB 200SP II)	100	0,10
acetamiprido (Battus)	110	0,10

diafentiurom (Polo 500 SC)	110	0,60
lambda cialotrina (Trinca Caps)	120	0,15
profenofós+cipermetrina (Polytrin, Stadio)	125	1,00
clorpirifós (Clorpirifós 48 EC Gharda)	130	1,00
carbassufano (Marsahl star)	140	1,20
etiprole (Curbix 200 SC)	150	1,00

Tabela 3. Ingredientes ativos, dias após a emergência (DAE) e dosagens de inseticidas aplicados na área experimental do algodoeiro cultivar TMG 47B2RF.

Avaliação

Para a avaliação da mancha-de-ramulária (MR), foram coletadas 10 folhas por parcela, na área útil de dois metros e duas linhas centrais, onde as 10 folhas constituíram uma média para cada parcela. A escala de avaliação da severidade da MR e MA baseou-se disponibilizada pela EMBRAPA.

Avaliou-se via escala diagramática a severidade (%) da MR aos 96, 103, 116, 122, 129, 136, 143 (dias após o plantio, DAS) e 150 DAS.

Calculou-se os parâmetros área abaixo da curva de progresso da mancha-de-ramulária calculou-se a (AACPMR), e taxa de infecção da MR (TIMR).

A partir da integralização da soma das medidas temporais de severidade (%) em cada folha contendo MR (separadamente), e a subtração das medidas de tempo foi possível obter AACPMR:

$$AACPMR = \sum_i^{n-1} \frac{(X_i + X_{i+1})(t_{t1+i} - t_i)}{2}$$

Sendo que, n corresponde o número de avaliações da severidade, Xi é igual a severidade da MR no i-ésimo tempo de avaliação (ti) (SHANNER e FINNEY, 1977).

A taxa de infecção da MR foi representada pelo coeficiente linear (bx), envolvendo a variável independente DAS, e como variável dependente a severidade correspondente, resultando num parâmetro que expressa o crescimento temporal da epidemia (% de lesão dia⁻¹).

Estatística

Todas as variáveis sanitárias representadas pela severidade (%) para a MR em diferentes dias de avaliação, AACPMR e TIMR, foram submetidas a teste de normalidade (Shapiro Wilk-normalidade), homogeneidade (Bartlett-homogeneidade), e quando os coeficientes satisfizeram os pressupostos, foi realizado teste paramétrico (teste F) e teste de comparação de médias relacionado, e quando não satisfizeram fez-se o teste não

paramétrico (Friedman test) e teste de comparação de médias.

Foi teste de hipótese do contraste dos fatores experimentais para analisar a interação entre os fatores. Foi realizada análise de correlação das variáveis respostas sanitárias e produtivas. Foi realizada análise multivariada do tipo análise de componentes principais e correlações canônicas. Todas as análises foram realizadas utilizando o pacote livre computacional R (R Team, 2008).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Parâmetros sanitários da mancha-de-ramulária (complexo *Ramularia* sp. e *Ramulariopsis* sp.) sobre o algodoeiro cultivar TMG 47B2RF.

A avaliação da severidade (%) da mancha-de-Ramularia, aos 96 (DAS), averiguou-se que a densidade populacional de 6 plantas/metro, obteve a menor porcentagem sendo ela de 1,45%, superior as demais densidades, a maior severidade da doença foi expressa pela densidade de 12 plantas/metro com 2,38% de severidade de mancha-de-ramularia,

Na avaliação de 103 DAS, observou-se que a densidade de 12 plantas/metro, apresentou a menor severidade da doença com 2,72%, contrastando estatisticamente da densidade de 10 plantas/metro e oito plantas/metro que foram iguais entre si, com porcentagem de 3,53 % e 3,82%, respectivamente. A densidade de 6 plantas/metro teve a maior porcentagem de 4,76%, diferindo do demais tratamentos, vale ressaltar que a partir dessa avaliação, desenhou-se a ordem das densidades até a última avaliação realizada, onde como que em escala crescente, onde o aumento da densidade populacional, resulta na redução da severidade da doença no algodoeiro,

Quando avaliado aos 116 DAS, a densidade de 12 plantas/metro teve severidade de 4,41%, sendo a menor entre as densidades, enquanto a maior foi da densidade de 6 plantas/metro com porcentagem de 8,09%. A mesma ordem foi possível ser vista aos 122 DAS, onde as densidades de 12, 10, 8 e 6 plantas/metro, foram estatisticamente diferentes si, apresentando as porcentagens de severidade nos valores de 6,94%, 8,19%, 9,53% e 11,44%, em respectiva ordem.

Já aos 129 DAS, as densidades populacionais 12 e 10 plantas /metro, foram iguais entre si com 13,47% e 14,78%, diferindo da densidade de 8 plantas com 16,44%, que foi distinta da densidade de 6 plantas com 17,78% de severidade média da mancha-de-ramulária por folha.

A avaliação de 136 DAS, a densidade que obteve o melhor resultado com a menor severidade da doença foi a densidade de 12 plantas/metro com 17,56%, igual as densidades de 8 e 10, porém distinguindo-se da densidade de 6 plantas/metro com a maior densidade de 20,84%, a primeira densidade a superar a casa dos 20% de área lesionada pelo patógeno.

Na avaliação de 143 DAS, as densidades de 12 plantas, 10 plantas e oito plantas,

foram semelhantes entre si com valores de 19,91%, 20,81% e 21,16%, vindo a diferir em estatística da densidade de 6 plantas com 23,38%.

Na última avaliação de severidade da mancha-de-ramulária, as densidades formaram uma escada na estatística, onde a menor severidade pode ser encontrada na densidade de 12 plantas 23,19%, densidade de 10 plantas com 24,38%, densidade de oito plantas com 24,94% e densidade de seis plantas com 27,16 %. Segundo Minton e Supak (1980) após um ensaio realizado com foco na murcha-de-vericillium, pode ser concluído em campo, que a severidade da doença foi mais elevada em plantas do algodoeiro vindas de plantas menos densas.

A avaliação da área abaixo da curva de progresso da mancha-de-ramulária, seguiram a mesma ordem estatística da última avaliação, onde teve por resultado de menor progressão a densidade de 12 plantas, e com maior progressão a densidade de seis plantas/metro.

Quando analisado a taxa de infecção da doença, a única densidade que destacou na estatística das demais foi a densidade de 6 plantas/metro, as demais ficaram iguais na estatística. (Tabela 02).

Tratamentos (Densidade)	Dias após a Semeadura								AACPMR	TIMR
	96	103	116	122	129	136	143	150		
T1. 6 plantas/m	1,45 a	4,76 a	8,09 a	11,44 a	17,78 a	20,84 a	23,38 a	27,16 a	736,16 a	0,48 a
T2. 8 plantas/m	1,59 b	3,82 b	7,00 b	9,53 b	16,44 b	19,16 b	21,16 b	24,94 b	658,07 b	0,45 b
T3. 10 plantas/m	1,95 c	3,53 b	5,66 c	8,19 c	14,78 c	18,69 bc	20,81 b	24,38 c	613,12 c	0,44 b
T4. 12 plantas/m	2,38 d	2,72 c	4,41 d	6,94 d	13,47 c	17,56 c	19,91 b	23,19 d	556,95 d	0,43 b
Teste Shapiro Wilk (normalidade)	0,8676**	0,8658**	0,8807**	0,8827**	0,8666**	0,8257**	0,8160**	0,8323**	0,8311**	0,8302**
Teste Bartlett (homogeneidade)	2,6265 ^{ns}	3,8906 ^{ns}	6,1971 ^{ns}	4,4305 ^{ns}	1,3165 ^{ns}	0,2245 ^{ns}	0,5583 ^{ns}	1,0801 ^{ns}	1,3802 ^{ns}	0,2888 ^{ns}
Valor F (F _{3,9})	86,9170**	57,7550**	193,6871**	133,4956**	22,9192**	15,5054**	22,5576**	107,0147**	95,0798**	12,5847**
Coefficiente de variação	110,4778	178,2955	69,4367	63,5371	59,063	64,6422	62,7329	59,345	63,7772	57,1123
Coefficiente de Friedman	153,0000**	37,0000**	12,0000**	12,0000**	37,0000**	14,1428**	7,0000**	12,0000**	12,0000**	6,2307*

*Médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si ao teste Tukey (P~0,05); coeficientes (F ou Friedman) marcados em negrito representam o teste de hipótese empregado para expressão dos níveis de significância

Tabela 4. Médias da severidade (%) da mancha-de-ramulária em diferentes dias após a sementeira, área abaixo da curva de progresso da mancha-de-ramulária (AACPMR) e taxa de infecção da mancha-de-ramulária (TIMR, %.dia⁻¹) no algodoeiro cultivar TMG 47B2RF e seu impacto na densidade de sementeira*.

Quando comparado a severidade da doença sobre área aplicada e não aplicada com fungicidas, pode-se concluir com base nos resultados apresentados, que em todas as avaliações as menores severidades foram obtidas pela área onde houve a aplicação do programa de fungicidas, diferindo em todas as avaliações da área que não houve a aplicação do programa de fungicidas. O mesmo pode ser constatado nas médias de AACPMR e TIMR. Tal comportamento da doença na escala temporal foi igual ao verificado por Ascari *et al.* (2016), onde constataram AACPS cerca de 20% maior na sementeira realizada na segunda quinzena de dezembro em relação à primeira quinzena de janeiro. Segundo os autores, tal comportamento é justificado através das condições climáticas,

temperatura e umidade relativa do ar terem sido favoráveis ao desenvolvimento do fungo *Raumularia areola*, com média de umidade relativa de 85% e temperatura variando entre 12,5 a 26,2 °C.

Para contestação, o trabalho realizado por Dias *et al.* (2015) mostrou acentuada perda foliar no baixeiro do algodão que não recebeu aplicação de fungicidas em relação à área com manejo de aplicação adotada. Podendo assim ressaltar a importância do controle químico no manejo da mancha-de-ramulária.

Fungicida	Dias após a Semeadura								AACPMR	TIMR
	96	103	116	122	129	136	143	150		
1.Sem aplicação de fungicida	3,41 a	6,23 a	9,39 a	13,19 a	23,48 a	29,23 a	32,47 a	37,69 a	977,41 a	0,67 a
2.Com aplicação de fungicida	0,28 b	1,18 b	3,19 b	4,86 b	7,75 b	8,89 b	10,16 b	12,14 b	304,73 b	0,23 b
Teste Shapiro Wilk (normalidade)	0,9643**	0,9308**	0,9455**	0,9557*	0,9511*	0,9682ns	0,9429**	0,9207**	0,9473**	0,9574*
Teste Bartlett (homogeneidade)	62,4010**	74,5470**	35,2950**	34,0690**	36,2690**	62,0470**	81,6090**	84,0310**	69,5960**	59,4000**
Valor F (F _{1,3})	1818,1818**	1666,4685**	540,3737**	2456,1009**	412,7184**	435,2629**	1676,9605**	2255,8861**	1210,2022**	914,9727**
Coefficiente de variação	66,3825	54,5436	50,4829	44,2874	27,1664	31,4754	28,1524	24,2494	32,5148	22,6727
Coefficiente de Friedman	4,0000**	4,0000**	4,0000**	4,0000**	4,0000**	4,0000**	4,0000**	4,0000**	4,0000**	4,0000**

*Médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si ao teste Tukey (P~0,05); coeficientes (F ou Friedman) marcados em negrito representam o teste de hipótese empregado para expressão dos níveis de significância

Tabela 5. Médias da severidade (%) da mancha-de-ramulária em diferentes dias após a sementeira, área abaixo da curva de progresso da mancha de ramulária (AACPMR) e taxa de infecção da mancha-de-ramulária (TIMR, %.dia⁻¹) no algodoeiro cultivar TMG 47B2RF e sua variação com e sem a aplicação de fungicida*.

Quando o assunto em questão é a época de sementeira, a sementeira realizada na primeira quinzena de janeiro, apresentou as maiores médias de severidade da mancha-de-ramulária, onde as médias obtidas podem ser até 30% superiores à sementeira realizada na primeira quinzena de janeiro. Vale-se contextualizar, que a sementeira realizada em janeiro, teve maiores precipitações até seu estabelecimento com 40 dias, já a sementeira realizada na janela de fevereiro passou por um maior período de estiagem, e consequentemente por maiores estresse, e que também viu os números pluviométricos diminuir e encerrar antes da data que vinha se encerrando nas safras anteriores.

Época de Plantio	Dias após a Sementeira								AACPMR	TIMR
	96	103	116	122	129	136	143	150		
1.Plantio Janeiro	2,72 a	4,82 a	8,42 a	11,77 a	17,53 a	22,77 a	25,25 a	28,45 a	772,63 a	0,51 a
2.Plantio Fevereiro	0,97 b	2,59 b	4,16 b	6,28 b	13,70 b	15,36 b	17,38 b	21,37 b	509,52 b	0,39 b
Teste Shapiro Wilk (normalidade)	0,9269**	0,9405**	0,9551*	0,9594*	0,9258**	0,9153**	0,9032**	0,8842**	0,9224**	0,8854**
Teste Bartlett (homogeneidade)	15,6550**	25,0290**	18,9920**	18,0100**	11,4070**	17,5440**	16,8620**	11,9910**	16,7820**	12,4410**
Valor F (F _{1,3})	2090,6667**	167,4654**	513,9931**	589,4785**	47,6515**	278,5240**	3663,7000**	426,6299**	1088,5623**	332,3152**
Coefficiente de variação	98,7654	83,8635	62,7601	57,1784	57,6704	60,5737	58,9113	56,7438	59,8852	54,6873
Coefficiente de Friedman	4,0000**	4,0000**	4,0000**	4,0000**	4,0000**	4,0000**	4,0000**	4,0000**	4,0000**	4,0000**

*Médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si ao teste Tukey (P~0,05); coeficientes (F ou Friedman) marcados em negrito representam o teste de hipótese empregado para expressão dos níveis de significância

Tabela 6. Médias da severidade (%) da mancha-de-ramulária em diferentes dias após a sementeira, área abaixo da curva de progresso da mancha de ramulária (AACPMR) e taxa de infecção da mancha-de-ramulária (TIMR, %.dia⁻¹) no algodoeiro cultivar TMG 47B2RF e em diferentes épocas de sementeira*.

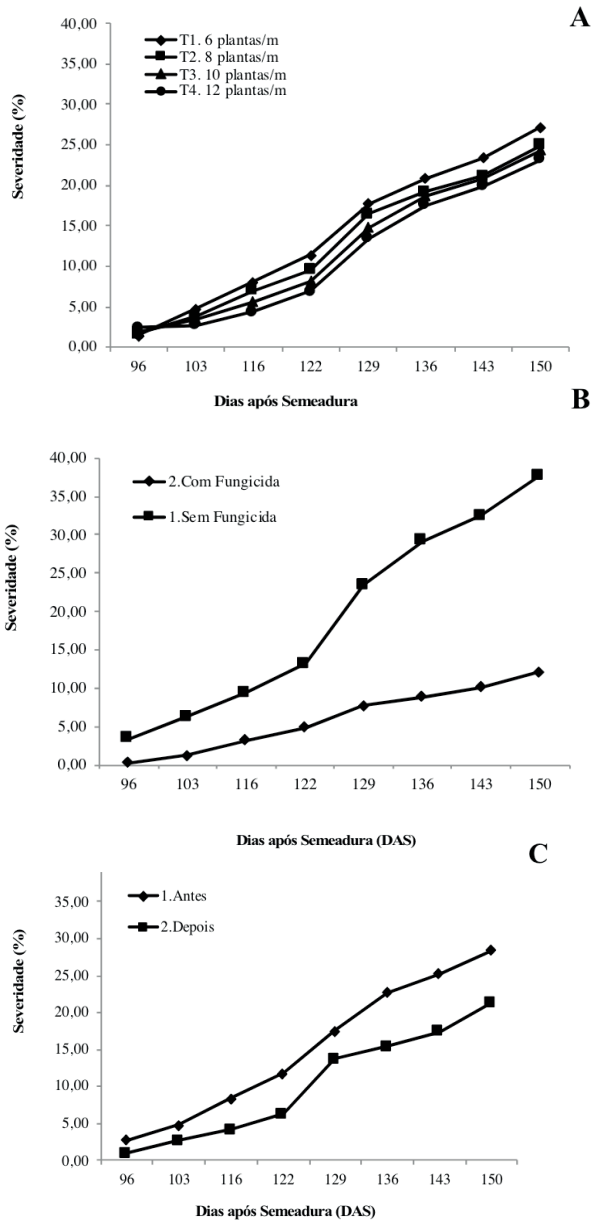


Figura 2. Progresso temporal da severidade (%) da mancha-de-ramulária (*Ramularia gossypii*) no algodoeiro Cultivar TMG 47B2RF. **A.** densidade de sementeira, **B.** Presença de aplicação de fungicida, **C.** Época de sementeira.

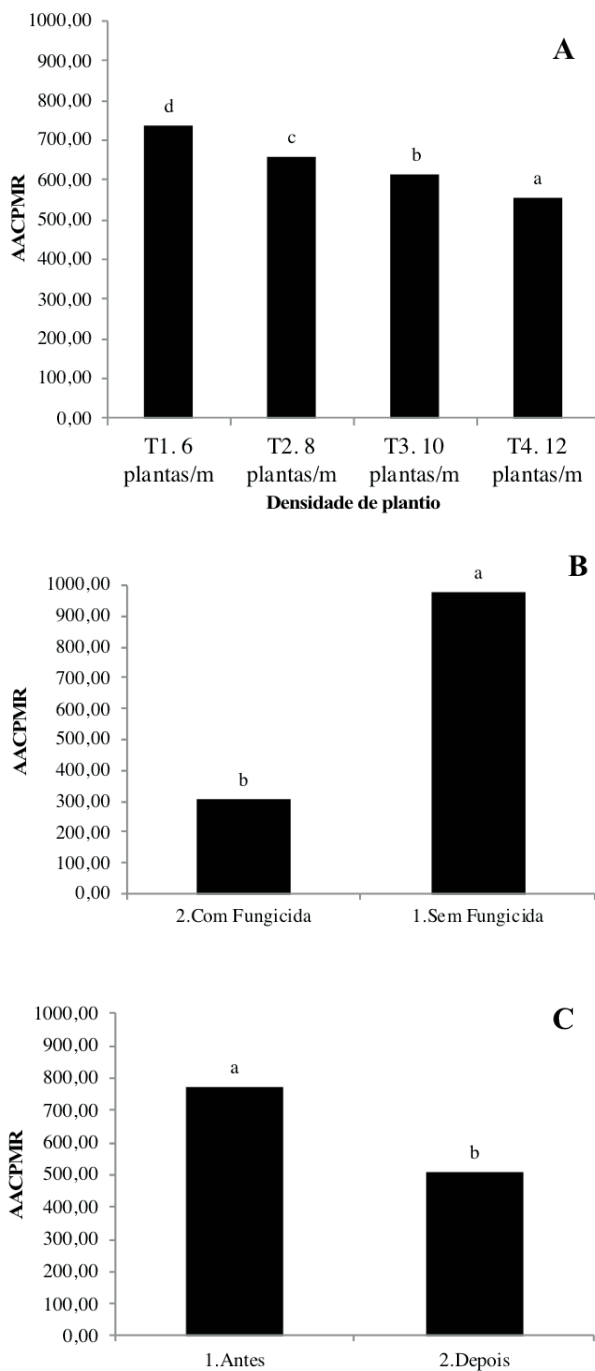


Figura 3. Médias da área abaixo da curva de progresso da mancha-de-Ramulária (AACPMR) do algodoeiro cultivar TMG 47B2RF. **A.** densidade de semeadura, **B.** presença de aplicação de fungicida, **C.** Época de semeadura

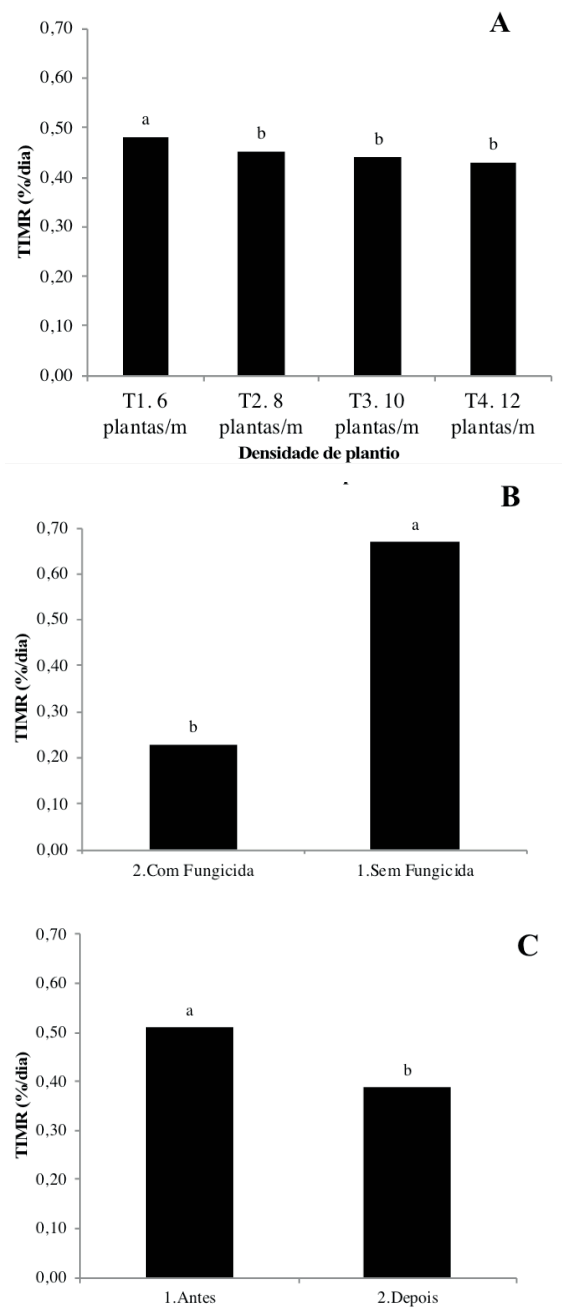


Figura 4. Médias da taxa de infecção da mancha-de-ramulária (TIMR, $\% \cdot \text{dia}^{-1}$) do algodoeiro Cultivar TMG 47B2RF. **A.** densidade de semeadura, **B.** Presença de aplicação de fungicida, **C.** Época de semeadura.

CONCLUSÕES

A severidade da mancha-de-Ramularia cresceu à medida que a densidade foi diminuindo.

A 1ª época de plantio foi a que apresentou as menores médias de severidade de MR para os três fatores avaliados.

A aplicação de um manejo de fungicidas fez com que se controlasse a epidemia de MR.

A densidade de oito plantas/metro apresentou-se como a melhor opção de plantio para redução da MR.

O programa de aplicação de fungicidas reduziu a severidade da mancha-de-ramularia do algodoeiro.

REFERÊNCIAS

AGROFIT, Banco de dados de consulta e uso no Brasil de produtos fitossanitários. Disponível em:< https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>, acessado em novembro de 2023.

DIAS, L. D. E., SILVA, D. M. V., ASCARI, J. P., BAGATINI, G. J., AMBRÓSIO, J., BATISTTI, M., ARAÚJO, D.V. Controle de mancha-de-ramulária em algodão adensado. **Revista Cultivar - Grandes Culturas**, n.187, p.8-11, 2015.

GILIO, T.A.S. Divergência genética em genótipos de algodoeiro e quantificação de danos causados pela mancha de ramulária. 2014. 69p. Dissertação de Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas, Universidade do Estado de Mato Grosso (UFMT), Cáceres, 2014.

IMEA Instituto Mato Grossense de Economia Agropecuária, Disponível em: <imea.com.br/imea-site/>, Acessado em dezembro de 2022.

MARUR, C.J., RUANO, O. A reference system for determination of developmental stages of upland cotton. **Revista de Oleaginosas e Fibrosas**, v.5, p.313-317, 2001.

MINTON, E. B.; SUPAK, J. R. Effects of seed density on stand, verticillium wilt, and seed and fiber characters of cotton. **Crop Science**, v. 20, n. 3, p. 345-347, 1980.

MORELLO, C. L.; FARIAS, F. J. C.; FILHO, J. L. S.; FREIRE, E. C. **Cultivares do algodoeiro para o Cerrado**. Embrapa Algodão. Circular Técnica 93, Campina Grande, PB, 2006.

R Team, R. D. C. (2008). **R: a language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Acess:< <https://www.R-project.org/>>

SILVA, A. V.; CHIAVEGATO, E.J.; CARVALHO, L.H., KUBIAK, D.M. Crescimento e desenvolvimento do algodoeiro em diferentes configurações de semeadura. **Bragantia**, v. 65, n. 3, p. 407-411, 2006.

SILVA, A.S., RENNÓ, M.H.L., QUINTANIA, A.C.R., CAFÉ FILHO, A.C., MILLER, R.N.G., ARAÚJO, A.E., PINHO, D.B. Ramularia leaf spot: PRC-based methods reveal widespread distribution of *Ramulariopsis pseudoglycines* and limited presence of *R. gossypii* in Brazil. **Scientific Reports (Nature)**, v. 13, p. 1-13, 2023.

USO DE *Tetrastichus howardi* (Olliff) (Hymenoptera: Eulophidae) NO CONTROLE BIOLÓGICO DE LEPIDÓPTEROS PRAGAS

Data de submissão: 04/12/2023

Data de aceite: 22/12/2023

Natalia Carolina Bermúdez Buitrago

Universidade Federal Rural de
Pernambuco, Departamento de Agronomia
Recife-PE
<http://lattes.cnpq.br/3110667026698726>
Orcid: 0000-0002-0975-4015

Christian Sherley Araújo da Silva Torres

Universidade Federal Rural de
Pernambuco, Departamento de Agronomia
Recife-PE
<https://lattes.cnpq.br/6987761145766931>
Orcid: 0000-0002-2364-5421

RESUMO: O controle biológico aumentativo é uma das táticas que fazem parte do manejo integrado de pragas (MIP). Várias espécies de parasitoides podem ser criados sob condições controladas para posterior liberação em campo visando o controle de pragas específicas. Dentre esses, *Tetrastichus howardi* (Olliff) (Hymenoptera: Eulophidae), é uma parasitoide que parasita pupas de diferentes espécies de pragas, com destaque para as brocas-da-cana-de-açúcar, *Diatraea* spp. (Lepidoptera: Crambidae), e a traça-das-crucíferas *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Plutellidae) e outras lagartas desfolhadoras

como *Oxydia vesulia* (Cramer) (Lepidoptera: Geometridae), etc. Características biológicas, comportamentais e de produção tais como: capacidade de localizar e parasitar hospedeiros crípticos, grande número de descendentes por pupa parasitada, não ocorrência de resistência das pragas ao parasitismo, possibilidade de criação em hospedeiro alternativo, baixo custo de produção em biofábricas mantendo a qualidade do parasitoide, fazem *T. howardi* um inimigo natural em potencial para uso no MIP de diversas culturas visando reduzir a população de lepidópteros pragas. Além disso, a utilização desse parasitoide surge como uma estratégia sustentável, alternativa ao controle químico, atendendo a crescente demanda de mercado por produtos agrícolas livres (ou com baixo uso) de agrotóxicos, em especial em áreas de agricultura orgânica.

PALAVRAS-CHAVE: Parasitoides, *Plutella xylostella*, *Diatraea* spp., lagartas desfolhadoras, sustentável.

USE OF *Tetrastichus howardi* (Olliff) (Hymenoptera: Eulophidae) IN THE BIOLOGICAL CONTROL OF LEPIDOPTERAN PESTS

ABSTRACT: The applied biological control is one of the integrated pest management (IPM) tactics. Many insect parasitoid species can be mass-reared under controlled conditions, followed by field releases aiming to control specific pests. Among them, *Tetrastichus howardi* (Olliff) (Hymenoptera: Eulophidae) is one parasitoid that attacks pupae of different pest species, for example, the sugarcane bores *Diatraea* spp., the diamondback moth *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Plutellidae), and other leaf-eating caterpillars as *Oxydia vesulia* Cramer (Lepidoptera: Geometridae), etc. Biological, behavioral, and production traits such as: location and parasitism capacity of concealed hosts, high number of descendants per parasitized pupa, lack of host resistance to parasitism, large-scale rearing feasibility on alternative host, and low production costs in insectaries maintaining parasitoid quality, make *T. howardi* a potential natural enemy candidate to be used in IPM of different crops to reduce lepidopteran pest populations. Moreover, using this parasitoid is a sustainable control strategy, an alternative to chemical control, meeting the growing market demands for agriculture products free (or with low use) of pesticides, especially in areas of organic agriculture.

KEYWORDS: Parasitoids, *Plutella xylostella*, *Diatraea* spp., defoliating caterpillars, sustainable.

1 | INTRODUÇÃO

1.1 Controle Biológico de Pragas

O controle biológico de pragas é um fenômeno natural que ocorre nos diferentes ecossistemas, consistindo na regulação populacional de um organismo mediante a ação dos seus inimigos naturais. Do ponto de vista do manejo integrado de pragas (MIP), o controle biológico resulta da ação dos inimigos naturais na manutenção da densidade de outro organismo (praga) a um nível mais baixo do que ocorreria na sua ausência. Os inimigos naturais dos insetos podem ser diversos, incluindo pássaros, anfíbios, répteis, aranhas, roedores, etc. Entretanto, no MIP, os inimigos naturais que tem potencial para serem utilizados no controle de insetos pragas são os entomopatógenos ou microbiológicos (fungos, bactérias, vírus e nematoides) e os entomófagos ou macrobiológicos (predadores e parasitoides) (DEBACH, 1964).

Os inimigos naturais podem ser abundantes, em especial em sistemas naturais com pouca interferência antropomórfica, o que mantém as populações em equilíbrio na maioria do tempo. Entretanto, em ecossistemas agrícolas, principalmente naqueles com prevalência de monocultura, esse equilíbrio é quebrado nas interações entre as espécies de presa-predador (hospedeiro-parasitoide). Nos ecossistemas agrícolas, geralmente ocorre escape das populações de herbívoros em algum momento, o que pode acarretar redução de produtividade. Assim, nesses ecossistemas por vezes é necessário realizar interferência para reduzir a população de pragas com aplicação de diferentes métodos de

controle, incluindo a estratégia de favorecer a ação dos inimigos naturais no controle de pragas.

O controle biológico é possível implementar de diferentes formas, a saber: i) por importação (introdução de uma espécie de inimigo natural exótica em uma nova região para controle de uma praga também exótica), ii) controle biológico conservativo (manipulação do ambiente favorecendo aos inimigos naturais já presentes, fornecendo recursos que atraiam novos inimigos naturais para manter no agroecossistema, e modificando o uso de agrotóxicos), iii) controle biológico aumentativo, o qual pode ser inoculativo (liberações em certos períodos do ciclo da praga alvo/ciclo da cultura com o objetivo de estabelecimento desses inimigos no agroecossistema) ou inundativo (liberação periódica de grandes densidades de inimigos naturais, visando a redução rápida da praga a níveis que não comprometam economicamente a cultura e sem expectativa de estabelecimento em campo) (FONTES et al., 2020).

O controle biológico aumentativo, independente da forma de liberação (inoculativa ou inundativa), precisa da criação do inimigo natural de interesse em biofábricas para posterior liberação em campo. Numa estimativa feita para o ano 2018, foram comercializadas mais de 440 espécies de agentes de controle biológico para diversas pragas de diferentes culturas ao redor do mundo (VAN LENTEREN et al., 2018). De 2018 até 2022, o uso de bioinsumos (incluindo agentes de controle biológico) no Brasil cresceu 62%, comparado a 16% a nível mundial, com previsão de aumento de 25% ao ano até 2030 (S&P GLOBAL; CROPLIFE BRASIL, 2022). Além disso, atualmente no Brasil é disponibilizado 629 produtos biológicos (bioinsumos) registrados para 200 alvos, e destes, 66% (412) são os microbiológicos, e 15% (94) são os macrobiológicos. Os 19% restante é composto pelos semioquímicos e bioquímicos (S&P GLOBAL; CROPLIFE BRASIL, 2022). Paralelamente, existe um aumento significativo no número de empresas nacionais que produzem bioinsumos visando atender a demanda do produtor, passando de menos de 10 empresas em 2018 para, aproximadamente, 30 empresas em 2023. Incluindo multinacionais como a Koppert, a Bayer e a Monsanto, entre outras.

1.2 Macrobiológicos: Insetos Parasitoides

Os parasitoides são insetos que se desenvolvem sobre ou dentro de um hospedeiro. Após parasitismo bem-sucedido, os parasitoides não matam imediatamente seu hospedeiro, mas podem permanecer como parasitos por períodos variáveis para completar seu desenvolvimento. Entretanto, no final, o hospedeiro é morto ou, pelo menos, não ocorre a transferência de genes para a próxima geração (VINSON, 1997). Dessa forma, na fase imatura o parasitoide é um parasito, alimentando-se do hospedeiro enquanto se desenvolve, mas na fase adulta é de vida livre, alimentando-se de néctar e pólen na maioria das vezes. Contudo, algumas espécies podem também alimentar da hemolinfa

do hospedeiro podendo acarretar a sua morte por dano mecânico. Além disso, durante o desenvolvimento do parasitoide até a morte do hospedeiro, esse pode se tornar mais suscetível a outros fatores de mortalidade, bem como reduzir a taxa de fertilidade se o parasitismo ocorre na fase adulta.

Parasitoides podem parasitar e desenvolver em todas as fases dos insetos (ovo, larva (ou ninfa), pupa e adulto). Além disso, algumas espécies de parasitoide podem parasitar uma fase e emergir em outra fase do hospedeiro (do tipo ovo-larva, lava-pupa). Uma única espécie de parasitoide pode parasitar diversas espécies de insetos de diferentes ordens (generalistas), ou ser específica e atacar poucas espécies de uma família (especialistas) (VAN DEN BOSCH et al., 1982). Após o parasitismo, o hospedeiro pode não morrer imediatamente, e a prole do parasitoide vai consumindo seu hospedeiro até completar seu ciclo, o que leva finalmente à morte do hospedeiro e emergência de novos parasitoides adultos (ABREU et al., 2015).

Existem diversas estratégias utilizadas pelos parasitoides para seu desenvolvimento no hospedeiro, (i) Ectoparasitismo: quando o desenvolvimento ocorre externamente ao corpo do hospedeiro, ou (ii) Endoparasitismo: o desenvolvimento ocorre dentro do hospedeiro. Enquanto nos ectoparasitoides, os ovos ou larvas do parasitoide são depositadas sob o corpo do hospedeiro ou perto deste, os endoparasitoides depositam seus ovos dentro do corpo do hospedeiro (GULLAN; CRANSTON, 2017). Os parasitoides geralmente são menores que os hospedeiros e, apenas, as fêmeas procuram pelos hospedeiros. Adicionalmente, os parasitoides podem ter habito solitário (resultando na emergência de um único parasitoide por hospedeiro) ou gregário (desenvolvimento e emergência de vários parasitoides em um único hospedeiro). Em termos de atributos fisiológicos, os parasitoides podem ser sinovigênicos (com ovogênese e maturação de ovos ao longo da vida adulta) e provigênicos (maturidade sexual e ovogênese já definida, número de ovos pré-definidos na emergência do adulto), e a alocação dos descendentes pode ser por monoembrionia (um ovo origina um descendente) que é mais comum, ou por poliembionia (um ovo se divide em vários embriões). Para obter sucesso no parasitismo, as fêmeas de algumas espécies podem injetar veneno para imobilizar o hospedeiro e suprimir suas defesas físicas e imunológicas, facilitando o ataque e oviposição como ichnovirus e bracovirus (DREZEN et al., 2021). Quanto a exploração do hospedeiro, os parasitoides idiobiontes matam ou paralizam o desenvolvimento de seus hospedeiros no momento do parasitismo (exemplos de parasitoides de ovos e pupas), enquanto os cenobiontes permitem que o desenvolvimento do hospedeiro continue e aumente de tamanho após parasitismo (parasitoides de larvas, ovo-larva, larva-pupa) (LAUMAN; SAMPAIO, 2020).

Parasitoides podem ser encontrados em seis ordens de insetos: Hymenoptera, Díptera, Coleoptera, Strepsiptera, Neuroptera e Lepidoptera, sendo que 75% das espécies encontram-se na orden Hymenoptera (BELSHAW et al., 2003; LAUMAN; SAMPAIO, 2020). O foco deste artigo é o parasitoide *Tetrastichus howardi* (Olliff) (Hymenoptera: Eulophidae)

e seu potencial no controle de lepidópteros praga.

2 | *Tetrastichus howardi* (HYMEPONTERA: EULOPHIDAE) E SEU POTENCIAL DE CONTROLE DE LEPIDÓPTEROS PRAGAS

Originário da Ásia, *T. howardi* é um endoparasitoide gregário, sinovigênico, cosmopolita com ampla distribuição e que poder realizar hiperparasitismo facultativo (LA SALLE; POLASZEK, 2007). Os adultos apresentam coloração escura, com brilho metálico. O dimorfismo sexual é evidenciado principalmente pelas antenas que, nas fêmeas apresentam o funículo pigmentado, com três segmentos, além de escapo sem placa sensorial na margem ventral. Nos machos, o funículo apresenta quatro segmentos e só a clava é pigmentada. Além disso, o escapo apresenta uma placa sensorial na margem ventral (GONZÁLEZ, 2003; LA SALLE; POLASZEK, 2007).

A fêmea adulta possui de 1,6 a 2,2 mm e o macho de 1,3 a 1,8 mm de tamanho. O ovipositor é do tipo himenopteriforme, de coloração branco-leitosa, com 0,28 a 0,30 mm de comprimento e 0,08 mm de largura. Os ovos são depositados no interior do hospedeiro e demoram cerca de dois dias para a eclosão das larvas que apresentam três instares com duração aproximada de seis dias até atingir o estágio de pupa. O período pupal dura entre 8 a 9 dias até a emergência dos adultos, sendo >90% fêmeas. A longevidade dos adultos varia de 15 a 25 dias. A duração de ovo a adulto dura aproximadamente 18 dias. O tamanho e o número de descendentes do parasitoide dependem da tamanho e espécie hospedeira (GONZÁLEZ et al., 2003; COSTA et al., 2014ab; RODRIGUES, 2021; MORAES et al., 2023). Segundo BERMÚDEZ et al. (2023), as fêmeas deste parasitoide atingem a maturação sexual e produção de ovos entre as 72 e 96h de idade, sendo o melhor momento para realizar o parasitismo.

O parasitismo de *T. howardi* tem sido relatado em pupas de diferentes espécies de Lepidoptera (VARGAS et al., 2011; BARBOSA et al., 2015; PIÑEYRO et al., 2016; MORAES et al., 2023; BERMÚDEZ et al., 2023). De fato, este parasitoide foi introduzido na África do Sul para o controle das brocas *Chilo partellus* (Swinhoe) (Lepidoptera: Pyralidae) e *Busseola fusca* (Fuller) (Lepidoptera: Noctuidae), pragas de grande importância econômica nas culturas de milho e sorgo (SKOROSZEWSKI; VAN HAMBURG, 1987; KFIR, 2001), e também nos Estados Unidos e em Cuba, com a finalidade de controlar *Diatraea* spp (Lepidoptera: Crambidae) em diferentes culturas (BENNETT, 1965; ÁLVAREZ et al., 2008). No Brasil, este parasitoide foi encontrado em campo, parasitando pupas de *Plutella xylostella* (L.) (SILVA-TORRES et al., 2010) e pupas de *Diatraea* spp. (CRUZ et al., 2011; VARGAS et al., 2011), tornando-se uma espécie com registro para comercialização contra esta última praga (AGROFIT, 2023).

O parasitoide *T. howardi* possui características importantes para ser considerado como um potencial agente de controle biológico de pragas, pois além de ser capaz de se

desenvolver e parasitar em temperaturas entre 18 e 32 °C (FAVERO et al., 2015), pode ser criado em laboratório utilizando diversos hospedeiros alternativos como pupas de *Erinnyis ello* (L.) (Lepidoptera: Sphingidae) (BARBOSA et al., 2015), *Bombyx mori* (L.) (Lepidoptera: Bombycidae) (PIÑEYRO et al., 2016), *Anticarsia gemmatalis* Hübner (Lepidoptera: Erebiidae) (FERNANDES, 2018) e *Tenebrio molitor* (L.) (Coleoptera: Tenebrionidae) (BARBOSA et al., 2019; MACHADO et al., 2023; BERMÚDEZ, 2023), sendo este último considerado de maior potencial como hospedeiro alternativo, visto que existe metodologia de criação bem estabelecida a baixo custo de produção (MACHADO et al., 2023).

2.1 *Tetrastichus howardi* no controle biológico das brocas *Diatraea* spp. (Lepidoptera: Crambidae)

As brocas *Diatraea* spp. ocorrem em todo o território brasileiro (MENDOÇA, 1996; FREITAS, 2007) atacando diferentes culturas como arroz, aveia, cevada, milho, trigo, plantas ornamentais, milheto, crisântemo e cana-de-açúcar. No caso específico da cana-de-açúcar, *Diatraea* spp. são consideradas pragas-chave da cultura. Devido ao seu desenvolvimento parcialmente protegido dentro dos colmos da cana, os inseticidas não conseguem atingir as larvas após a penetração no colmo e pupas. Dessa forma métodos alternativos de controle são importantes. Fato que o principal método de controle de *Diatraea* é o biológico, mediante liberação do parasitoide de larvas *Cotesia flavipes* (Hymenoptera: Braconidae). Contudo, parte das larvas desta praga conseguem escapar do parasitismo e atingir o estágio de pupa e, posteriormente, iniciando uma nova geração de adultos.

Por sua vez, o parasitoide *T. howardi*, consegue localizar e parasitar pupas de *Diatraea* spp. (BARBOSA et al., 2019; BERMÚDEZ, 2023). Isso é muito favorável no manejo dessa praga, contribuindo com a ação aditiva àquela obtida pela *C. flavipes*. Teste em laboratório mostraram que o parasitismo de pupas de *Diatraea impersonatella* por *T. howardi* obteve porcentagem de emergência superior a 90% (RODRIGUES et al., 2021; BERMÚDEZ, 2023), com produção média de até 227 ± 92 descendentes por pupa parasitada (BERMÚDEZ et al., 2023). Além disso, BARBOSA et al. (2019), definiram o número de pontos de liberação, assim como o número de parasitoides por pupa da *Diatraea* spp. em canaviais comerciais, alcançando parasitismo de 46,4% de pupas em campo.

2.2 *Tetrastichus howardi* no controle biológico das traça-das-crucíferas *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae)

A *P. xylostella* é a praga de maior importância econômica nas culturas de crucíferas (couve, couve-flor, repolho, brócolis etc.), ocasionando perdas de produtividade. O controle da tração é predominantemente feito com inseticidas, porém com falhas recorrentes, devido à resistência aos diversos princípios ativos (MOTA-SANCHEZ; WISE, 2023). O

parasitoide *T. howardi* possui a capacidade de detectar sinais químicos voláteis de plantas infestadas por lagartas de *P. xylostella*, parasitar e causar mortalidade de 100% de pupas da traça-das-crucíferas em condições de laboratório (MORAES et al., 2023). A liberação inundativa ou inoculativa deste parasitoide em campo com ocorrência de *P. xylostella*, pode contribuir significativamente com o controle desta praga. Em áreas de plantio de brássicas no Agreste de Pernambuco, *T. howardi* já foi encontrado parasitando naturalmente a traça-das-crucíferas (SILVA-TORRES et al., 2010).

2.3 *Tetrastichus howardi* no controle biológico de espécies pragas florestais

No setor florestal, o ataque de lagartas desfolhadoras como *Iridopsis panopla* (Prout), *Thyrinteira arnobia* (Stoll) e *Oxydia vesulia* (Cramer) (Lepidoptera: Geometridae) têm alcançado níveis de danos consideráveis, principalmente na cultura de eucalipto (ZANUNCIO et al., 2018; PEREIRA, 2023). Surtos populacionais de lagartas desfolhadoras recentes em 2022 em plantios de eucalipto, aliado a prospecção de agentes de controle biológico, gearam resultados favoráveis ao uso de um complexo de três espécies de parasitoides, entre esses, *T. howardi* (PEREIRA et al., 2021). Estudos em laboratório mostraram parasitismo com emergencia de novos parasitoides de 100% de pupas de *O. vesulia* quando expostas a parasitismo de entre 10 e 15 fêmeas de *T. howardi* por 48h (FAVORETO et al., 2021), evidenciando o potencial deste parasitoide no manejo integrado de lepidópteros desfolhadores de eucalipto. Fato que atualmente *T. howardi* vem sendo empregado em programa de controle biológico de pupas de lagartas desfolhadores (PEREIRA, 2023).

2.4 *Tetrastichus howardi* e compatibilidade com o controle químico

Dentro da filosofia do MIP, sabemos que a utilização do controle biológico deve ser mais uma tática de controle integrada. No MIP, os métodos de controle biológico não são empregados de forma isolada, visto que muitas vezes, a depender do tipo utilizado (conservação ou aumentativo), não é suficiente para suprimir todas as pragas da cultura durante toda o seu ciclo. Assim, é possível que o parasitoide *T. howardi* seja utilizado para manejo das pragas supracitadas, enquanto outros métodos sejam necessários para o controle de pragas não parasitadas. Então, o controle químico pode ser uma ferramenta necessária, e sua utilização deve ser cautelosa visando o controle da praga alvo e menor impacto possível sobre os inimigos naturais, incluindo *T. howardi*. Uma forma de reduzir esse impacto é através da utilização de inseticidas seletivos ou com baixo impacto negativo sobre esse parasitoide. Por exemplo, (MORAES, 2022) mostrou que os inseticidas ciantraniliprole (100 mL/ha) e espinetoram (100 g/ha) não foram prejudiciais a *T. howardi* exposto em diferentes substratos em laboratório. Sendo esses produtos seguros para

uso concomitante com o parasitoide no manejo integrado de pragas das crucíferas. Além disso, (BERMÚDEZ et al., 2023) mostraram que o inseticida clorantraniliprole (450 g/ha) foi compatível com *T. howardi*, permitindo sobrevivência e parasitismo com produção de descendência após a exposição prolongada ao inseticida.

3 | CONCLUSÃO

A liberação e conservação do parasitoide *T. howardi*, visando o controle de diversas pragas da ordem Lepidóptera, é uma tática que busca contribuir com o MIP de maneira mais sustentável, devido a sua ocorrência natural no Brasil e quando necessária a liberação massiva do parasitoide, não impõe impactos adversos ao meio ambiente. Além disso, dificilmente as pragas (hospedeiros) apresentam resistência ao parasitoide, diferentemente dos inseticidas, o que facilita e prolonga sua ação no manejo.

Aspectos como a facilidade para sua criação em larga escala empregando hospedeiro alternativo, como *Tenebrio molitor* L., a baixo custo (MACHADO et al., 2023), aceitação de hospedeiros alternativos sem sofrer efeitos na qualidade e nem condicionamento pre-imaginal (BERMÚDEZ et al., 2023), fazem de *T. howardi* um agente de controle biológico potencial para o controle de lepidópteros em diversas culturas agrícolas.

AGRADECIMENTOS

A CAPES/PROEX-PPGE pelo apoio financeiro e a Jorge Braz Torres (UFRPE) pelas sugestões.

REFERÊNCIAS

ABREU, J.A.S., ROVIDA, A.F.S., CONTE, H. **Controle biológico por insetos parasitoides em culturas agrícolas no Brasil: Revisão de literatura**. UNINGA, v.22, p. 22-23, 2015.

AGROFIT. **Sistema de Agrotóxicos Fitosanitarios**. AGROFIT, 2023. Disponível: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 05 de jan. de 2023.

ÁLVAREZ, J., NARANJO, F., GRILLO, H. **Estudio de la interacción entre *Lixophaga diatraeae* Towns. (Diptera: Tachinidae) y *Tetrastichus howardi* Olliff. (Hymenoptera: Eulophidae) parasitoides de *Diatraea saccharalis* Fab. en Cuba - Parte II**. Centro Agrícola, v. 35, p. 71-75, 2008.

BARBOSA, R.H., KASSAB, S.O., PEREIRA, F.F., ROSSONI, C., COSTA, D.P., BERNDT, M.A. **Parasitism and biological aspects of *Tetrastichus howardi* (Hymenoptera: Eulophidae) on *Erinnyis ello* (Lepidoptera: Sphingidae) pupae**. Ciencia Rural, v. 45, p. 185-188, 2015.

BARBOSA, R.H., PEREIRA, F.F., MOTOMIYA, A.V.A., KASSAB, S.O., ROSSONI, C., TORRES, J.B., MUSSURY, R.M., PASTORI, P.L. ***Tetrastichus howardi* density and dispersal toward augmentation biological control of sugarcane borer**. Neotropical Entomology, v. 48, p. 323-331, 2019.

BELSHAW, R., GRAFEN, A., QUICKE, D.L.J. **Inferring life history from ovipositor morphology in parasitoid wasps using phylogenetic regression and discriminant analysis.** Zoological Journal of the Linnean Society, v. 139, p. 213-228, 2003.

BENNETT, F.D. **Tests with parasites of Asian graminaceous moth-borers on *Diatraea* and allied genera in Trinidad.** Tech Bull. Commonwealth Institute of Biological Control, v. 5, p. 101-116, 1965.

BERMÚDEZ, N.C. **Criação, resposta biológica e comportamental de *Tetrastichus howardi* (Olliff) (Hymenoptera: Eulophidae) a inseticidas.** Tese (Doutorado em Entomologia) –Programa de Pós-Graduação em Entomologia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 104p. 2023.

BERMÚDEZ, N.C., NASCIMENTO, D.V., MORATO, R.P., SILVA-TORRES, C.S.A., TORRES, J.B. **Biological and behavioural responses of the sugarcane borer parasitoid *Tetrastichus howardi* to insecticides.** Journal of Applied Entomology, v. 147, p. 728-741, 2023.

COSTA, D.P., PEREIRA, F.F., KASSAB, S.O., ROSSONI, C., FAVERO, K., BARBOSA, R.H. **Reprodução de *Tetrastichus howardi* em pupas de *Diatraea saccharalis* de diferentes idades.** Revista de Ciências Agrárias, v. 57, p. 67-71, 2014a.

COSTA, D.P., PEREIRA, F.F., KASSAB, S.O., ROSSONI, C., PASTORI, P.L., ZANUNCIO, J.C. ***Tetrastichus howardi* (Hymenoptera: Eulophidae) em diferentes densidades e períodos de parasitismo em lagartas de *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae).** Annals of the Entomological Society of America, v. 107, p. 961-966, 2014b.

CROPLIFE. **Biodefensivos, cada vez mais presentes no campo.** CROPLIFE, 08 de maio de 2023. Disponível: <<https://croplifebrasil.org/noticias/biodefensivos-cada-vez-mais-presentes-no-campo/>>. Acesso em: 08 de nov. de 2023.

CRUZ, I., REDOAN, A.C., SILVA, R.B., FIGUEIREDO, M.L.C., PENTEADO DIAS, A.M. **New Record of *Tetrastichus howardi* (Olliff) as a parasitoid of *Diatraea saccharalis* (Fabr.) on maize.** Scientia Agricola, v. 68, p. 252-254, 2011.

DEBACH, P. **Biological control of insect pest and weeds.** London, Chapman and Hall Ltd, p. 844, 1964.

DREZEN, J.M., BÉZIER, A., BURKE, G.R., STRAND, M.R. **Bracoviruses, ichnoviruses, and virus-like particles from parasitoid wasps retain many features of their virus ancestors.** Current Opinion in Insect Science, v. 49, p. 93-100, 2022.

FAVERO, K., PEREIRA, F.F., TORRES, J.B., OLIVEIRA, H.N., KASSAB, S.O., ZANUNCIO, J.C. **Reproduction of *Tetrastichus howardi* (Hymenoptera: Eulophidae) in *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae) pupae at different temperatures.** Florida Entomologist, v. 98, p. 865-869, 2015.

FAVORETO, A.L., PAVANI, R.F., RIBEIRO, M.F., ZANUNCIO, A.J.V., SOARES, M.A., ZANUNCIO, J.C., WILCKEN, C.F. ***Tetrastichus howardi* (Hymenoptera: Eulophidae): first report of parasitism in *Oxydia vesulia* (Lepidoptera: Geometridae).** Brazilian Journal of Biology, v. 81, p. 406-410, 2021.

FERNANDES, W.C. **Desempenho biológico de *Tetrastichus howardi* (Hymenoptera: Eulophidae) em lagartas, pupas e pré-pupas de *Anticarsia gemmatilis* (Lepidoptera: Erebididae) em condições de laboratório e semi-campo.** Tese (Doutorado em entomologia e conservação da biodiversidade) - Programa de Pós-Graduação em Entomologia e Conservação da Biodiversidade, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 143p. 2018.

FONTES, E.M.G., PIRES, C.S.S., SUJII, E.R. **Estratégias de uso e histórico**, p. 21-43. In E.M.G. Fontes & M.C. Valadares-Inglis (eds.). Controle biológico de pragas da agricultura. Brasília, DF, Embrapa, 2020, 510p.

FREITAS, M.R.T., SILVA, E.L., MENDOÇA, A.L., SILVA, C.E., FONSECA, A.P.P., MENDOÇA, A.L., SANTOS, J.S., NASCIMENTO, R.R., SANTANA, A.E.G. **The biology of *Diatraea flavipennella* (Lepidoptera: Crambidae) reared under laboratory conditions**. Florida Entomologist, v. 90, p. 309-313, 2007.

GONZÁLEZ, J.F.A., OCA, F.N.M., RAVELO, H.G. **Estudios bioecológicos de *Tetrastichus howardi* Olliff. (Hymenoptera: Eulophidae), parásito pupal de *Diatraea saccharalis* (Fabr.) (Lepidoptera: Crambidae) en Cuba**. (Primera parte). Centro Agrícola, v. 30, p. 37-41, 2003.

GULLAN, P.J., CRANSTON, P.S. **Insetos: fundamentos da entomología**, 5ª ed. Rio de Janeiro, Roca, 460p. 2017.

KFIR, R. **Prospects for biological control of the stem borer *Chilo partellus* in grain crops in South Africa**. International Journal of Tropical Insect Science, v. 21, p. 275-280, 2001.

LA SALLE, J., POLASZEK, A. **Afrotropical species of the *Tetrastichus howardi* species group (Hymenoptera: Eulophidae)**. African Entomology, v. 15, p. 45-56, 2007.

LAUMANN, R.A., SAMPAIO, M.V. **Controle de artrópodes-praga com parasitoides**. p. 65-112. In E.M.G. Fontes & M.C. Valadares-Inglis (eds.). Controle biológico de pragas da agricultura. Brasília, DF, Embrapa, 2020, 510p.

MACHADO, A.V.A., BERMÚDEZ, N.C., VACARI, A.M., SILVA-TORRES, C.S.A., PEREIRA, F.F., TORRES, J.B. **Use of alternative host and production costs of the sugarcane borer parasitoid *Tetrastichus howardi***. BioControl, v. 68, p. 471-481, 2023.

MENDOÇA, A.F. **Guia das principais pragas da cana-de-açúcar**, p. 3-48. In A.F. Mendonça (ed.), Pragas da cana-de-açúcar. Maceió: Insetos e Cia, 239p. 1996.

MORAES, R.J.S.S. **Prospecções de *Tetrastichus howardi* (Olliff) (Hymenoptera:Eulophidae) para o manejo de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae)**. Tese (Doutorado em Entomologia) –Programa de Pós-Graduação em Entomologia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 82p. 2022.

MORAES, R.J.S.S., SILVA-TORRES, S.A., BARBOSA, P.R.R., TORRES, J.B. **Olfaction Response and fertility life table parameters of *Tetrastichus howardi* (Hymenoptera: Eulophidae) parasitizing *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) and the factitious host *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae)**. Neotropical Entomology, v. 52, p. 921-931, 2023.

MOTA-SANCHEZ, D., WISE, J.C. **The Arthropod Pesticide Resistance Database**. IRAC Michigan State University. Disponível em: <<https://www.pesticideresistance.org/search.php>> Acesso em: 08 de nov. de 2023.

PEREIRA, F.F. **Controle biológico de lagartas desfolhadoras**. Revista Opiniões, v.70, p. 68-69, 2023. Disponível em: < <https://florestal.revistaopinioes.com.br/pt-br/revista/detalhes/20-controle-biologico-de-lagartas-desfolhadoras/>> Acesso em: 08 de nov. de 2023.

PEREIRA, F.F., PASTORI, P.L., KASSAB, S.O., TORRES, J.B., CARDOSO, C.R.G., Fernandes, V.C., OLIVEIRA, H.N., ZANUNCIO, J.C. **Uso de eulofídeos no controle biológico de pragas.** In: J.R.P. Parra., A.S. Pinto., D.E. Nava., R.C. Oliveira., A.J.F. Diniz (Org.). *Controle Biológico com parasitoides e predadores na agricultura brasileira*. 1ed. Piracicaba: FEALQ, v. 1, p. 317-361, 2021.

PIÑEYRO, N.G., PEREIRA, F.F., BORGES, F.L.G., ROSSONI, C., SILVA, A.S., KASSAB, S.O. **Multiplicar *Tetrastichus howardi* (Hymenoptera: Eulophidae) en la oruga de la seda afecta su biología?** *Acta Biologica Colombiana*, v. 21, p. 189-193, 2016.

RODRIGUES, A., PEREIRA, F.F., BARBOSA, P.R.R., SILVA-TORRES C.S.A., TORRES, J.B. **Parasitism behavior of *Tetrastichus howardi* (Hymenoptera: Eulophidae) on larvae and pupae of sugarcane borers.** *Journal of Insect Behavior*, v. 34, p. 71–81, 2021.

S&P GLOBAL. **Sumário executivo bidefensivos. Mercado Brasileiro I Safra 2021/22.** S&P GLOBAL. *Commodity insights*. 30 de jun. de 2022. Disponível: <https://croplifebrasil.org/wp-content/uploads/2023/05/Mercado_de_biodefensivos_21_22_SPGlobal_CroplifeBrasil-1.pdf>. Acesso em: 09 de nov. de 2023.

SILVA-TORRES, C.S.A., PONTES, I.V.A.F., TORRES, J.B., BARROS, R. **New records of natural enemies of *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) in Pernambuco, Brazil.** *Neotropical Entomology*, v. 39, p. 835-838, 2010.

SKOROSZEWSKI, R.W., VAN HAMBURG, H. **The release of *Apanteles flavipes* (Cameron) (Hymenoptera: Braconidae) against stalk-borers of maize and grain sorghum in South Africa.** *African Entomology*, v. 50, p. 249-255, 1987.

VAN DEN BOSCH, R., MESSENGER, P.S., GUTIERREZ, A.P. **Natural enemies**, P. 37-58. In Springer (ed.), *An introduction to biological control*. New York, NY, p. 247, 1982.

VAN LENTEREN, J.C., BOLCKMANS, K., KÖHL, J., RAVENSBERG, W.J., URBANEJA, A. **Biological control using invertebrates and microorganisms: plenty of new opportunities.** *Biocontrol*, v. 63, p. 39-59, 2018.

VARGAS, E.L., PEREIRA, F.F., TAVARES, M.T., PASTORI, P.L. **Record of *Tetrastichus howardi* (Hymenoptera: Eulophidae) parasitizing *Diatraea* sp. (Lepidoptera: Crambidae) in sugarcane crop in Brazil.** *Entomotropica*, v. 26, p. 143-146, 2011.

ZANUNCIO, J.C., CRUZ, A.P., RAMALHO, F.S., SERRÃO, J.E., WILCKEN, C.F., SILVA, W.M., SANTOS-JÚNIOR, V.C., FERREIRA-FILHO, P.J. **Environmental determinants affecting the occurrence of defoliator caterpillars on eucalyptus (Myrtaceae) plantations in the Brazilian Amazonian region.** *Florida Entomologist*, v. 101, p. 480-485, 2018.

REVISÃO SOBRE FATORES FÍSICOS E QUÍMICOS DOS HERBICIDAS NO SOLO, DESTACANDO O CONCEITO DE LIXIVIAÇÃO E SEU POTENCIAL

Data de submissão: 16/11/2023

Data de aceite: 22/12/2023

Bruna Ferreira Lima

Universidade do Estado de Mato Grosso
– UNEMAT
Tangará da Serra – MT
<http://lattes.cnpq.br/7883473403107104>

Carlos Henrique Costa Reverte

Universidade do Estado de Mato Grosso
– UNEMAT
Tangará da Serra – MT
<http://lattes.cnpq.br/3710061389597391>

Carlos Augusto de Moraes Coimbra

Universidade do Estado de Mato Grosso
– UNEMAT
Tangará da Serra – MT
<http://lattes.cnpq.br/9513398378277578>

Júlia Magro Machado

Universidade do Estado de Mato Grosso
– UNEMAT
Tangará da Serra – MT
<http://lattes.cnpq.br/0607324347848895>

Ana Carolina Dias Guimarães

Universidade do Estado de Mato Grosso
– UNEMAT
Alta Floresta – MT
<http://lattes.cnpq.br/5753126877699144>

Kassio Ferreira Mendes

Universidade Federal de Viçosa
Viçosa - MG
<http://lattes.cnpq.br/7101423608732888>

Gabriel Casagrande de Castro

Universidade do Estado de Mato Grosso
– UNEMAT
Tangará da Serra – MT
<http://lattes.cnpq.br/1484881592326663>

Miriam Hiroko Inoue

Universidade do Estado de Mato Grosso
– UNEMAT
Tangará da Serra – MT
<http://lattes.cnpq.br/5603582678388704>

RESUMO: Os herbicidas são amplamente utilizados na agricultura em larga escala, desempenhando um papel crucial na produção de alimentos. No entanto, eles podem ter efeitos negativos em diversos organismos, especialmente quando entram em corpos d'água. Monitorar a presença e os efeitos dos herbicidas em mananciais é essencial para uma agricultura sustentável, especialmente no Brasil, um dos maiores consumidores e produtores de alimentos no mundo, que possui uma quantidade significativa de recursos hídricos. Quando

um herbicida é aplicado no solo em pré-emergência, ele está sujeito a processos de sorção, lixiviação e degradação, influenciados por fatores físicos, químicos e biológicos. Neste contexto, este texto propõe uma revisão que aborda fatores físicos e químicos dos herbicidas e o conceito da lixiviação e seu potencial. Além disso, são apresentados exemplos de herbicidas recentemente detectados em corpos d'água no Brasil e técnicas para sua detecção e quantificação na água.

PALAVRAS-CHAVE: Defensivos agrícola, fluido percolante, contaminação.

REVIEW OF PHYSICAL AND CHEMICAL FACTORS OF HERBICIDES IN THE SOIL, HIGHLIGHTING THE CONCEPT OF LEACHING AND ITS POTENTIAL

ABSTRACT: Herbicides are widely used in large-scale agriculture, playing a crucial role in food production. However, they can have negative effects on various organisms, especially when they enter bodies of water. Monitoring the presence and effects of herbicides in water sources is essential for sustainable agriculture, especially in Brazil, one of the largest consumers and producers of food in the world, which has a significant amount of water resources. When a herbicide is applied to soil pre-emergence, it is subject to sorption, leaching and degradation processes, influenced by physical, chemical and biological factors. In this context, this text proposes a review that addresses physical and chemical factors of herbicides and the concept of leaching and its potential. Furthermore, examples of herbicides recently detected in water bodies in Brazil and techniques for their detection and quantification in water are presented.

KEYWORDS: Agricultural pesticides, percolating fluid, contamination.

INTRODUÇÃO

O crescimento populacional tem impulsionado um aumento na produção de alimentos recentemente. Para alcançar esse objetivo, várias tecnologias foram adotadas, incluindo a abertura de novas áreas agrícolas, intensificação do uso do solo, uso de fertilizantes, variedades melhoradas, plantios adensados, agroquímicos e, mais recentemente, plantas transgênicas. Notavelmente, a utilização de herbicidas desempenhou um papel significativo na expansão e desenvolvimento da agricultura brasileira (MANCUSO et al., 2011).

No cultivo em larga escala, a utilização intensiva de insumos é comum, sendo os defensivos agrícolas essenciais para alcançar altos níveis de produtividade. No entanto, o uso excessivo e inadequado desses produtos químicos sintéticos pode ter graves impactos ambientais (BARIZON et al., 2006).

Os herbicidas são frequentemente identificados em estudos de qualidade de águas superficiais e subterrâneas devido ao uso intensivo desses produtos (CARTER, 2000; TANABE et al., 2001). Nas regiões próximas aos campos de cultivo de cana-de-açúcar, é observada uma maior presença de resíduos de herbicidas devido ao fato de que essa cultura é uma das que mais utiliza esses produtos para controlar plantas infestantes ou daninhas (SOUTHWICK et al., 2002; VIVIAN et al., 2007).

O solo é o ponto de destino para os produtos químicos utilizados na agricultura,

quer sejam aplicados diretamente ao solo ou nas plantas. Quando entram em contato com o solo, os herbicidas passam por processos físico-químicos que determinam seu destino no ambiente. Devido à importância de usar insumos agrícolas de forma responsável para reduzir os impactos ambientais da agricultura, vários estudos têm sido conduzidos para entender como os herbicidas interagem com o solo.

Quando um herbicida é aplicado no solo em pré-emergência, ele está sujeito a processos de sorção, lixiviação e degradação, influenciados por fatores físicos, químicos e biológicos. Além disso, o herbicida pode ser absorvido tanto pelas plantas daninhas quanto pelas plantas cultivadas (VELINI, 1992).

O conhecimento do comportamento dos herbicidas é importante para avaliação dos riscos de contaminação, sendo a degradação um processo valioso para atenuar os níveis de resíduos contaminantes no solo. Esse processo consiste na quebra das moléculas de agrotóxicos em partículas menores, visando torná-las menos tóxicas (BRUM, FRANCO, JUNIOR, 2013).

O presente estudo teve como objetivo relacionar os conceitos de degradação, sorção e lixiviação, debatendo sobre a capacidade de lixiviação dos herbicidas, seu comportamento sobre o solo, e a interferência dos fatores físicos e químicos nesse processo.

REVISÃO DA LITERATURA

O que são herbicidas

As plantas daninhas representam um desafio significativo na agricultura global, causando perdas anuais que totalizam cerca de 95 bilhões de dólares devido a várias formas de interferência nas culturas e efeitos indiretos na produção de alimentos. Como resultado, especialistas da área agrícola continuam dedicando esforços para estudar e avaliar métodos diversos de manejo dessas plantas (FAO, 2009).

Existem várias abordagens para o controle de plantas daninhas na agricultura, incluindo medidas preventivas para evitar a entrada de espécies no sistema, técnicas culturais, métodos de controle físico ou mecânico e a utilização de inimigos naturais. No entanto, o método de controle mais comum e amplamente utilizado é a aplicação de herbicidas. Esses produtos fitossanitários, fabricados sinteticamente, têm a função de inibir o crescimento e/ou causar a morte das plantas daninhas quando usados em concentrações adequadas (SANTOS et al., 2013).

Os herbicidas são frequentemente detectados em estudos de qualidade de águas superficiais e subterrâneas devido ao seu uso intensivo. Nas áreas próximas ao cultivo de cana-de-açúcar, a presença de resíduos desses compostos é mais comum, uma vez que essa cultura é uma das que mais utiliza herbicidas para o controle de plantas infestantes e vegetais (MONQUERO et al., 2010).

O comportamento dos herbicidas em solos varia de acordo com o tipo de solo, as condições climáticas e as propriedades dos produtos utilizados. É crucial compreender esses fatores para prever como os herbicidas se comportarão em diferentes categorias de solo, escolher as doses adequadas e prevenir impactos adversos no meio ambiente e em cultivos futuros (Rossi et al., 2005).

O movimento descendente dos herbicidas no solo é afetado por diversos fatores, incluindo o teor e tipo de matéria orgânica, a composição, tamanho e distribuição das partículas do solo, o pH e densidade do solo, o tamanho e distribuição dos poros, a solubilidade em água das moléculas dos herbicidas e a taxa de precipitação pluvial. Esses elementos desempenham um papel fundamental na determinação da mobilidade e eficácia dos herbicidas no ambiente (MONQUERO et al., 2010).

São agentes biológicos ou substâncias químicas capazes de matar ou suprimir o crescimento de espécies específicas, incluindo fungos e outros microrganismos. No Brasil, estão em andamento diversas pesquisas sobre o uso de fungos patogênicos como agentes herbicidas, com resultados promissores. As substâncias químicas podem ser orgânicas, representando a maioria dos herbicidas atualmente usados, ou inorgânicos, que foram empregados no controle de plantas específico no passado, como o NaCl e o H₂SO₄. (ROMAN et al., 2005).

Os herbicidas são classificados com base em grupos químicos e seus mecanismos de ação, o mecanismo de ação é especialmente importante para evitar a resistência de plantas a herbicidas. Herbicidas com o mesmo mecanismo de ação tendem a causar sintomas semelhantes nas plantas, são aplicados da mesma forma e têm limitações e toxicologia semelhantes. No entanto, alguns grupos de herbicidas, como as sulfoniluréias, podem variar amplamente em termos de comportamento ambiental e no controle de diferentes espécies de plantas. (ROMAN et al., 2005).

A substituição de outros métodos de controle pelo uso de herbicidas resultou em uma redução significativa de 97% no tempo gasto no manejo de plantas daninhas. Esse fato desempenhou um papel crucial no crescimento da agricultura e na disponibilidade de mão-de-obra para o desenvolvimento industrial em várias nações nas décadas anteriores, além de ter contribuído para um aumento expressivo na produção de alimentos (GIANESSI, 2013).

No Brasil, o maior consumidor de produtos fitossanitários atualmente, existem 540 herbicidas registrados, compostos por 142 ingredientes ativos. Globalmente, a classe dos herbicidas é a mais amplamente utilizada entre os produtos fitossanitários (BRASIL, 2023).

Desempenham um papel fundamental no desenvolvimento e na estabilidade do agronegócio, tendo um impacto direto na economia de muitos países (CAI, 2008; GIANESSI, 2013). No Brasil, devido à extensão das áreas destinadas à produção de alimentos, é aplicado anualmente um total de aproximadamente 470 mil toneladas de herbicidas, dos quais 214 mil toneladas correspondem a ingredientes ativos (SINDAG, 2023).

A aplicação média de herbicidas no Brasil é de 6,9 kg por hectare por ano, levando em conta a área dedicada à agricultura (IBGE, 2023). Embora os herbicidas sejam projetados para controlar plantas, eles podem afetar organismos de outros reinos, tanto diretamente como indiretamente, devido à toxicidade dos ingredientes ativos e/ou das substâncias na formulação comercial. A intoxicação de animais pode resultar em danos a várias enzimas, má formação de tecidos, prejuízos reprodutivos e alterações no comportamento (TSAI, 2013).

Após serem aplicados, a maioria dos herbicidas se move de sua área de ação inicial. Nesse processo, eles podem ser adsorvidos, absorvidos, sofrer degradação física, química ou biológica, ou formar complexos com elementos do sistema (FLURY, 1996).

A previsão das perdas de produtos fitossanitários no ambiente é um desafio devido à ampla variedade de fatores ambientais, práticas operacionais e tipos de produtos, bem como à complexidade das interações entre eles. Embora as moléculas de herbicidas possam ser encontradas em várias matrizes ambientais, os corpos de água são os principais locais de acumulação final dessas substâncias, especialmente em agrossistemas com uma extensa rede hidrográfica e uso intensivo de herbicidas (LEU et al., 2004; MURRAY et al., 2010).

PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DOS HERBICIDAS

O comportamento de um herbicida está intimamente ligado às suas características físico-químicas e às condições ambientais durante a aplicação. Ao selecionar um herbicida, é essencial considerar suas propriedades físico-químicas, independentes da forma de aplicação. As características mais significativas a serem observadas antes da aplicação incluem solubilidade em água (SwL), pressão de vapor (CaL), coeficiente de repartição carbono-água (Koc) e meia-vida no solo (KARAM et al., 1995).

Solubilidade em água (Sw)

A solubilidade em água de um herbicida determina sua capacidade de se misturar com a água, formando uma solução. Essa solubilidade é geralmente expressa em partes por milhão (ppm) e varia entre diferentes herbicidas. Valores mais altos de solubilidade indicam uma maior capacidade de dissolução em água, resultando em maior disponibilidade na solução do solo. Isso afeta diretamente processos físico-químicos como absorção pelas raízes, adsorção nas partículas do solo, biodegradação, lixiviação e volatilização.

Pressão de vapor (Ca)

A propensão de uma substância química para mudar a fase líquida para a fase gasosa e migrar para a atmosfera é avaliada pela pressão de vapor. No caso dos herbicidas, a volatilização pode ocorrer diretamente da solução ou na superfície das plantas. A pressão

de vapor varia com a temperatura e é expressa em milímetros (mm) de mercúrio (Hg) a 25 °C. Quanto menor a pressão de vapor, maior é a propensão do herbicida à volatilização.

Herbicidas altamente voláteis são extraordinários de incorporação no solo por meio de implementos agrícolas ou água de controle para prevenir a perda na forma gasosa. Quando aplicados em solo seco, especialmente em condições de alta temperatura e baixa umidade do ar, herbicidas voláteis podem volatilizar rapidamente a superfície do solo, sendo importante destacar que a umidade aumenta significativamente com chuva ou supervisão na lavoura.

Coeficiente de repartição carbono orgânico-água (Koc)

O coeficiente de repartição de carbono orgânico-água (Koc) é calculado como a relação entre o coeficiente de adsorção do herbicida ao solo (Kd) e a quantidade de carbono orgânico no solo. O coeficiente de adsorção (Kd) é determinado pela relação entre o herbicida adsorvido nas partículas do solo (mg kg⁻¹) e o herbicida dissolvido na solução do solo (µg/L). Esse coeficiente indica a propensão do herbicida a se ligar à matéria orgânica do solo, embora a adsorção às partículas de argila também seja crucial.

O coeficiente de adsorção (Kd) é definido como a razão entre a quantidade de herbicida adsorvido e a quantidade de herbicida na solução do solo. O coeficiente de repartição de carbono orgânico-água (Koc) é desenvolvido para estimar a adsorção de herbicidas ao solo, classificando-a como muito forte, forte, média ou leve. Herbicidas adsorvidos aos colóides do solo apresentam maior risco de contaminação de águas superficiais devido ao escoamento do solo causado por excesso de água de chuva ou privacidade.

Meia vida (T_{1/2})

A meia-vida de um herbicida é o período em que metade do composto é degradado, diminuindo sua persistência no solo. No entanto, a eficiência no controle de plantas aparentes não é determinada apenas pela meia-vida, pois o herbicida pode permanecer no solo abaixo da zona de absorção radicular sem eficácia no controle. Do ponto de vista agrônomo, a persistência influencia a presença residual dos herbicidas no solo.

Umidade do solo e temperatura

O conhecimento do volume de chuva após a aplicação do herbicida, juntamente com a temperatura e umidade do solo, é crucial para avaliar a possibilidade de resíduo no solo. Condições de baixa umidade geralmente diminuem a taxa de manipulação do herbicida, enquanto a umidade só facilita a dissipação do produto. Herbicidas da família das dinitroanilinas degradam-se mais rapidamente sobre solo saturado, mas em períodos secos, a movimentação do herbicida é reduzida, aumentando sua adsorção nas partículas

de argila e matéria orgânica. Por exemplo, o imazaquin, um herbicida residual para a cultura da soja, requer um mínimo de umidade no solo para sua disponibilidade, proporcionando assim a possibilidade de eliminação para o plantio de culturas subsequentes. A temperatura do solo também é vital para a manipulação do herbicida, sendo que as temperaturas baixas diminuem a taxa de eliminação, resultando em meias maiores-vidas em solos de climas temperados em comparação com solos de climas tropicais.

pH do solo

O pH do solo desempenha um papel crucial na persistência e manipulação de vários herbicidas. A persistência de certos herbicidas, como as triazinas, é mais pronunciada em condições de pH do solo acima de 7,0. No entanto, as sulfoniluréias têm uma taxa de transferência reduzida quando o pH do solo ultrapassa 6,8. A persistência pode ser aumentada em solos com pH abaixo de 5,9, exemplificado pelo herbicida clomazone (KARAM et al., 1995).

HERBICIDAS DETECTADOS NO BRASIL

A agricultura brasileira é uma das mais importantes em termos de produção de alimentos, destacando-se como o maior produtor de cana-de-açúcar, café, laranja, frutas tropicais e biodiesel. Além disso, o país se sobressai em outras culturas como soja, milho, arroz, algodão e tem um agronegócio em crescimento constante. No entanto, devido ao uso intensivo de herbicidas e preocupações com os resíduos desses produtos no meio ambiente, há uma atenção crescente para a detecção dessas moléculas em mananciais (SANTOS et al. 2013).

Em estudos anteriores, foi observado que o herbicida 2,4-D não era um contaminante do aquífero guarani em níveis preocupantes. No entanto, o tebuthiuron, um herbicida com alto poder residual, foi detectado em amostras de água a uma profundidade de 53 metros na mesma região. Esses resultados levam à classificação do tebuthiuron como uma ameaça potencial às águas subterrâneas e superficiais (CERDEIRA et al. 2002).

Em pesquisas mais recentes, o diuron e o ametryn foram identificados como os herbicidas mais vulneráveis à contaminação da água superficial, com concentrações bloqueadas em rios do Estado de Sergipe. A intensidade da chuva desempenha um papel importante na entrada desses produtos na água (BRITTO et al. 2012).

Portanto, a detecção e a avaliação dos herbicidas em mananciais são questões cruciais dadas a importância da agricultura no Brasil e a necessidade de proteger o meio ambiente e as fontes de água.

O herbicida clomazone é autorizado para uso no Brasil em diversas culturas, incluindo soja, cana-de-açúcar, algodão, milho, arroz, batata, fumo, mandioca e pimentão.

Possui notável persistência no solo, superior a 150 dias, é moderadamente volátil, altamente solúvel em água e tem um coeficiente de sorção (Koc) de 300 mL g⁻¹, conforme informações de RODRIGUES & ALMEIDA (2011). O herbicida clomazone é autorizado para uso no Brasil em diversas culturas, incluindo soja, cana-de-açúcar, algodão, milho, arroz, batata, fumo, mandioca e pimentão. Possui notável persistência no solo, superior a 150 dias, é moderadamente volátil, altamente solúvel em água e tem um coeficiente de sorção (Koc) de 300 mL g⁻¹, conforme informações de RODRIGUES & ALMEIDA (2011).

O herbicida clomazone é autorizado para uso no Brasil em diversas culturas, incluindo soja, cana-de-açúcar, algodão, milho, arroz, batata, fumo, mandioca e pimentão. Possui notável persistência no solo, superior a 150 dias, é moderadamente volátil, altamente solúvel em água e tem um coeficiente de sorção (Koc) de 300 mL g⁻¹ (RODRIGUES & ALMEIDA (2011).

MARCHEZAN et al. (2007) e SILVA et al. (2009) classificou o herbicida clomazone como um dos principais contaminantes de mananciais no Brasil, especialmente em áreas de cultivo de arroz. Eles observaram que em 50% das amostras de água coletadas, a concentração de clomazone atingiu um máximo de 7,72 µg L⁻¹, além disso, esses estudos também detectaram a presença de outros herbicidas usados na cultura do arroz, como quinclorac e propanil, em concentrações máximas de 6,6 e 12,9 µg L⁻¹, respectivamente.

Em um estudo conduzido no Estado do Mato Grosso, DORES et al. (2006) coletaram água superficial e subterrânea e relataram a presença de vários herbicidas, incluindo atrazina, metolacoloro, metribuzin, simazina e trifluralina, em concentrações máximas de 0,156; 1.732; 0,351; 0,085 e 0,102 µg L⁻¹, respectivamente. Além disso, ARMAS et al. (2007) detectaram a presença de herbicidas como acetocloro, ametrina, atrazina, clomazone, diuron, glifosato, hexazinona, isoxaflutol, pendimetalina, simazina, sulfentrazone, tebutiuron e trifluralin em águas superficiais e sedimentos do Rio Corumbataí, uma região produtora de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, os autores destacaram que as triazinas, devido à sua persistência no solo e solubilidade em água, foram os principais contaminantes identificados.

No que diz respeito às triazinas, o herbicida atrazina é amplamente relatado como um dos principais contaminantes de água em todo o mundo. No Brasil, em estudos realizados por ARMAS et al. (2007), as concentrações de atrazina em água superficial variaram entre 0,6 e 2,7 µg L⁻¹, especialmente em áreas onde a cana-de-açúcar é predominante. Isso ressalta a presença significativa desse herbicida na água, com impacto notável na região científica. Apesar de possuir registro, o herbicida atrazina não é frequentemente utilizado na cultura de cana-de-açúcar. Isso destaca a notável persistência desse produto no solo e sua entrada mais lenta na água.

A atrazina é classificada como altamente suscetível à lixiviação, de acordo com os critérios da USEPA, GUS e GOSS, com uma média de resíduos encontrados em corpos de água de 20 µg L⁻¹ em áreas agrícolas (NWANI, 2010). Apesar de sua baixa pressão de

vapor ($3,9 \times 10^{-5}$ mPa), algumas condições do solo e do clima, juntamente com sua baixa adsorção ao solo, contribuem para a frequente detecção desse herbicida, inclusive em águas pluviais (MOREIRA et al., 2012).

A matriz principal do herbicida atrazina é a água subterrânea, conforme ROHR & MCCOY (2010). No entanto, a ampla utilização desse herbicida pode ser considerada como a principal causa da sua presença em mananciais. Isso resultou na proibição de suas transações em alguns países, mesmo após 20 anos da isenção da exclusão, conforme indicado por HILLEBRAND et al. (2013). Isso evidencia a persistência e impacto significativo da atrazina no meio ambiente.

MOREIRA e COLS. (2012) realizaram uma coleta de água superficial, subterrânea e de precipitações no período de setembro de 2007 a outubro de 2009 no Estado do Paraná e avaliaram a presença de 16 produtos fitossanitários. O herbicida atrazina se destacou como o mais significativo, com concentrações de 75,43 $\mu\text{g L}^{-1}$, 9,33 $\mu\text{g L}^{-1}$ e 18,96 $\mu\text{g L}^{-1}$ em água de chuva, rio e água subterrânea, respectivamente. Isso realça a ocorrência expressiva de atrazina nas águas da região e sua detecção em diferentes fontes de água.

DESLOCAMENTO DE HERBICIDAS PARA CORPOS D'ÁGUA.

A contaminação de mananciais por herbicidas não está apenas relacionada à proximidade entre a área tratada e os corpos de água, mas também a diversos outros fatores. Estes incluem as características técnicas de aplicação, propriedades físicas e químicas dos produtos, condições do solo, clima, topografia e práticas de manejo da área. Em muitos casos, vários desses fatores negativos se combinam, aumentando a probabilidade de entrada e permanência dos herbicidas na água.

A aplicação de herbicidas geralmente envolve o uso de água como veículo, ou seja, é uma aplicação líquida. No entanto, a contaminação de mananciais por herbicidas pode ocorrer mesmo antes da aplicação, devido ao armazenamento inadequado ou manuseio incorreto dos produtos ou embalagens. Em muitos casos, quando essas atividades são realizadas próximas a corpos de água, isso pode resultar na entrada de herbicidas no ambiente aquático (TAVELLA et al., 2011).

No Brasil, embora o uso de produtos fitossanitários seja crucial, práticas de desobediência à legislação e negligência nos procedimentos de aplicação, especialmente em áreas próximas a mananciais, são frequentemente observadas.

Nesse sentido, FILIZOLA et al. (2005), um estudo realizado na região leste do Estado de São Paulo visava avaliar a contaminação de um córrego por defensivos agrícolas. Os resultados mostraram que a presença desses produtos na água estava relacionada à lavagem de equipamentos e embalagens próxima ao reservatório de água, em vez do uso dos produtos nas lavouras.

Em relação ao risco de contaminação de mananciais, a aplicação de herbicidas em

campo pode ser considerada insignificante quando comparada à lavagem de embalagens e equipamentos diretamente em poços de água. Como exemplo, considerando a aplicação de atrazine na dosagem de 2,0 kg por hectare, mesmo em um cenário ecotoxicológico adverso em que o produto é aplicado diretamente na água sem interagir com material suspenso ou sedimentos, com diluição uniforme até 2,0 metros de profundidade (URBAN & COOK, 1986), enquanto a aplicação de atrazine no campo resultaria em uma concentração de 100 µg L⁻¹ na água, a lavagem de equipamentos e embalagens diretamente nos córregos introduziria quantidades significativamente maiores de produtos fitossanitários nos mananciais.

Durante o processo de pulverização, cerca de metade do produto fitossanitário é perdido (FRIEDRICH, 2004).

No contexto da aplicação de produtos fitossanitários, é fundamental considerar três parâmetros ambientais essenciais: ventos, umidade relativa do ar e temperatura. Esses fatores precisam estar em harmonia com as características técnicas da aplicação, como tipo de bico de pulverização, velocidade do equipamento aplicador, pressão de trabalho, o alvo a ser tratado, condições do equipamento e a qualificação técnica dos operadores (FERREIRA et al., 2007). Esse desafio pode se tornar mais complexo em grandes áreas de cultivo com alto valor agrícola, onde a aplicação aérea de herbicidas é uma opção.

Em um estudo que envolveu a aplicação de um marcador semelhante a um herbicida pré-emergente no solo, os pesquisadores observaram uma interação significativa entre a velocidade do vento, a ponta de pulverização e a pressão de trabalho, afetando os resultados de deriva. Eles constataram que em condições de vento mais forte, ocorreu uma maior perda do produto devido ao arraste pelo vento. No entanto, também notaram que em muitos casos, a escolha adequada da ponta de pulverização era uma solução mais eficaz para minimizar o impacto negativo do vento do que reduzir a pressão de trabalho (COSTA et al., 2007).

A ponta de pulverização é fundamental na formação e distribuição das gotas durante a aplicação de herbicidas, sendo um componente crucial no equipamento de pulverização. A escolha inadequada da ponta pode levar a perdas significativas do produto e, conseqüentemente, à contaminação de mananciais. É importante evitar o uso de pontas que produzam gotas com diâmetro menor que 100 µm, pois isso aumenta consideravelmente o risco de perdas durante a aplicação (FERREIRA et al., 2007).

Nos campos de produção agrícola, além da perda de herbicidas por deriva, é possível que esses produtos atinjam o solo e sejam transportados para mananciais de diversas maneiras, incluindo escoamento superficial, escoamento subsuperficial e lixiviação. O potencial de lixiviação, em particular, é uma característica crucial de um herbicida relacionada à contaminação de águas subterrâneas, de acordo com critérios estabelecidos pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, 2023).

O herbicida é classificado com base em sua capacidade de contaminar águas

superficiais usando o método de Goss (GOSS, 1992).

Além das características relacionadas ao transporte, a persistência da molécula do herbicida no ambiente, em sua forma original, desempenha um papel importante na detecção do herbicida em mananciais. Isso é especialmente relevante quando há movimentação vertical no solo, pois a degradação microbiana, a principal forma de decomposição das moléculas de herbicida no ambiente do solo, diminui à medida que o herbicida se afasta da superfície. Além disso, o comportamento das moléculas no solo é afetado por diversos outros fatores, como pH, capacidade de troca de cátions, textura do solo, mineralogia e teor de matéria orgânica, que determinam os processos de adsorção ou desorção do herbicida no solo (VENCILL et al., 2002).

O estudo visa avaliar a movimentação e a persistência dos herbicidas sulfentrazone e imazapic, considerando diferentes tipos de solo e a influência da precipitação (MONQUERO et al., 2010). A intensidade das chuvas e a textura do solo estão diretamente relacionadas com o transporte vertical de herbicidas. Solos de textura média ou arenosos permitem uma maior movimentação dos produtos, o que pode levar à sua detecção posterior em aquíferos, como também foi mencionado (GOMES et al., 2006).

Devido às diferenças nas práticas de manejo e nos herbicidas utilizados, os produtos químicos empregados na cultura da cana-de-açúcar são mais frequentemente detectados na água em comparação com aqueles usados na soja. Essa disparidade é atribuída à maior capacidade de persistência dos herbicidas utilizados em canaviais, resultando em concentrações mais elevadas desses produtos no solo. Mais de 70% dos herbicidas aplicados nessa cultura têm ação residual (VENCILL, 2002; BRASIL, 2023), isso aumenta a probabilidade de perda desses herbicidas para os mananciais.

Algumas situações operacionais nas lavouras, como o relevo, a proteção e a localização do manancial, também têm impacto na presença de herbicidas na água. Em áreas com inclinação acentuada e solo de textura média ou arenosa, juntamente com chuvas intensas, as práticas de preparo do solo podem levar ao carreamento de solo e herbicidas para os córregos (QUEIROZ et al., 2011).

A capacidade de ligação aos componentes da matéria orgânica do solo, bem como a capacidade de adesão a óxidos de ferro, alumínio e argilas, são informações cruciais que influenciam a interação dos herbicidas no solo (TONI et al., 2006). A capacidade de ligação do glyphosate a componentes da matéria orgânica do solo resulta em uma persistência prolongada no ambiente, permitindo sua detecção na água até 60 dias após a aplicação (SILVA et al., 2003).

POTENCIAL DE LIXIVIAÇÃO DO SOLO

Lixiviação é o processo de carregamento vertical do herbicida no solo, ou seja, através do perfil do solo, em profundidade. Volume de chuvas e umidade do solo são fatores

ambientais que influenciam o processo de lixiviação (mais chuvas e mais umidade, maior a tendência de lixiviar). Além disso, propriedades do solo e dos herbicidas, relacionados aos processos de retenção no solo, também influenciam a lixiviação (maior retenção, menor lixiviação), como será discutido a seguir. CARVALHO (2013).

A lixiviação desempenha um papel fundamental na incorporação superficial da maioria dos herbicidas, permitindo que eles alcancem sementes ou plântulas durante a germinação. Esse processo pode influenciar significativamente a eficácia dos herbicidas no controle de plantas específicas, tornando-os mais ou menos eficazes, dependendo da eficiência da lixiviação (OLIVEIRA, 2001).

Embora a lixiviação seja fundamental para a incorporação superficial de herbicidas, pesquisas indicam que também pode diminuir a persistência desses compostos ao transportá-los para camadas mais profundas do solo, onde as raízes das plantas vegetais e culturas têm acesso limitado. Isso resulta na redução da eficácia dos herbicidas e no potencial de danos às culturas subsequentes (FERRI & VIDAL, 2003).

O excesso de lixiviação pode levar à contaminação do lençol freático por herbicidas em muitos casos. Portanto, compreender o potencial de lixiviação dos herbicidas pode ser útil na criação de formulações que reduzam as perdas por lixiviação desses compostos no solo, contribuindo para a preservação do meio ambiente e a gestão mais eficiente dos herbicidas (WAUCHOPE et al., 1990; GISH et al., 1994).

O potencial de lixiviação de um herbicida pode ser avaliado por meio de técnicas de lisímetro (WINTON & WEBER, 1996), a cromatografia de camada delgada de solo refere-se a uma técnica de análise que envolve a separação e identificação de componentes presentes no solo usando uma camada fina de material adsorvente (HELLING, 1971; SANCHEZ-MARTIN et al., 1994), como alternativa a métodos de avaliação caros e que requerem manutenção dispendiosa, é possível utilizar amostras deformadas em colunas de solo para realizar avaliações, oferecendo uma opção mais acessível e prática (SOUZA et al., 2000; INOUE et al., 2002; BACHEGA et al., 2009), é possível realizar avaliações usando amostras deformadas em colunas de solo, juntamente com a semeadura de espécies vegetais sensíveis ao herbicida de interesse, conhecidas como bioindicadoras. Esse método oferece uma alternativa acessível e prática para a avaliação de herbicidas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A lixiviação é uma característica importante a ser considerada no contexto do uso de herbicidas no solo. A lixiviação refere-se à aplicação dos herbicidas através do solo, carreando-os para camadas mais profundas ou mesmo atingindo o lençol freático. Isso pode representar um risco significativo para o meio ambiente, uma vez que os herbicidas podem contaminar águas subterrâneas e, eventualmente, atingir corpos de água superficiais, afetando a biodiversidade aquática e a qualidade da água potável.

O potencial de lixiviação de um herbicida depende de vários fatores, incluindo suas características químicas, as propriedades do solo e as práticas de aplicação, herbicidas com alta solubilidade em água e baixa adsorção ao solo têm maior probabilidade de lixiviar. Portanto, é fundamental escolher herbicidas protegidos, considerar as condições do solo e aplicar as boas práticas agrícolas para minimizar os riscos de lixiviação.

Além disso, é crucial avaliar o impacto a longo prazo do uso de herbicidas no solo, considerando as possíveis consequências para a saúde do solo, a microbiota e a capacidade de retenção de nutrientes. Isso pode afetar a sustentabilidade das práticas agrícolas.

Em resumo, a lixiviação e o potencial dos herbicidas no solo são questões críticas a serem levadas em consideração na agricultura moderna. O uso responsável de herbicidas, a seleção adequada de produtos e a adoção de práticas sustentáveis são essenciais para minimizar os impactos negativos no solo e no meio ambiente.

REFERÊNCIAS

ARMAS, E.D. et al. **Diagnóstico espaçotemporal da ocorrência de herbicidas nas águas superficiais e sedimentos do Rio Corumbataí e principais afluentes**. Química Nova, v.30, n.5, p.1119-1127, 2007.

ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALIZATION. NF X 31-211: **Caractérisation des déchets: essai de lixiviation d'un déchet solide initialement massif ou généré par un procédé de solidification**. Paris, 2012.

BACHEGA, T. F. et al. **Lixiviação de sulfentrazone e amicarbazone em colunas de solo com adição de óleo mineral**. Planta Daninha, v.27, n.2, p. 363-370, 2009.

BARIZON, R. R. M. et al. **Simulação do transporte e da sorção de imazaquin em colunas de solo**. R. Bras. Ci. Solo, v.30, n.4, p.615-623, 2006.

BRASIL: MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. AGROFIT - **Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários**. Disponível em: http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 17 de setembro de 2023.

BRITTO, F.B. et al. **Herbicidas no alto Rio Poxim, Sergipe e os riscos de contaminação dos recursos hídricos**. Revista Ciência Agronômica, v.43, n.2, p.390-398, 2012.

BRUM, C.S.; FRANCOS, A.A.; JUNIOR, R.P.S. **Degradação do herbicida sulfentrazone em dois solos de Mato Grosso do Sul**. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/3hqV9kXvBv4h4Dm7BT/h6MSq/?lang=pt>. Acesso em: 10 de outubro de 2023.

CAI, D.W. **Understand the role of chemical pesticides and prevent misuses of pesticides**. Bulletin of Agricultural Science and Technology, v.1, n.6, p.36-38, 2008.

CARTER, A. D. **Herbicide movement in soils: principles, pathways and processes**. Weed Res., v.40, n.1, p. 113-122, 2000.

CARVALHO, Leonardo Bianco de. **Herbicidas**. 1ª edição, 2013.

CERDEIRA, A.L. et al. **Metodologia analítica de resíduo do herbicida 2,4-D (ácido 2,4-diclorofenoxiacético) em amostras de água em área de cultivo de cana-de-açúcar**. Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente, v.12, n.1, p.99-110, 2002.

COSTA, A.G.F. et al. **Efeito da intensidade do vento, da pressão e de pontas de pulverização na deriva de aplicações de herbicidas em préemergência**. Planta Daninha, v.25, n.1, p.203- 210, 2007.

DORES, E.F.G.C. et al. **Multiresidue determination of herbicides in environmental waters from Primavera do Leste Region (Middle West of Brazil) by SPE-GC-NPD**. Journal of the Brazilian Chemical Society, v.17, n.5, p.866-873, 2006.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Dados de produção mundial**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>>. Acesso em: 18 de setembro de 2023.

FERREIRA, L.R. et al. **Tecnologia de aplicação de herbicidas**. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Eds.). Tópicos em manejo de plantas daninhas. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2007. p.326-367.

FERRI, M. V. W.; VIDAL, R. A. **Persistência do herbicida acetochlor em função de sistemas de preparo e cobertura com palha**. Ci. Rural, v. 33, n. 3, p.399-404, 2003.

FILIZOLA, H.F. et al. **Monitoramento de agrotóxicos e qualidade das águas em área de agricultura irrigada**. Revista Brasileira de Agrociência, v.11, n.2, p.245-250, 2005.

FLURY, M. **Experimental evidence of transport of pesticides through field soils - a review**. Journal of Environmental Quality, v.25, n.2, p.25-45, 1996.

FRIEDRICH, T. **Quality in pesticide application technology**. In: RAETANO, C.G.; ANTUNIASI, U.R. Qualidade em tecnologia de aplicação. Botucatu: Fepaf, 2004. p.93-109.

GISH, T. G.; SHIRMOHAMMADI, A.; WIENHOLD, B. J. **Field-scale mobility and persistence of commercial and starch-encapsulated atrazine and alachlor**. J. Environ. Qual., v.23, p.355-359, 1994.

GOMES, M.A.F. et al. **Movimento do herbicida tebutiuron em dois solos representativos das áreas de recarga do aquífero Guarani**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.10, n.2, p.479-483, 2006.

GIANESSI, P.L. **The Increasing Importance of Herbicides in Worldwide Crop Production**. Pest Management Science, v.69, n.10, p.1099-1105, 2013.

GOSS, D.W. **Screening procedure for soils and pesticides for potential water quality impacts**. Weed Technology, v.6, n.11, p.701-708, 1992.

HELLING, C. S. **Pesticide mobility in soils**. III. Influence of soil properties. Soil Sci. Soc. Am. Proc, v.35, p.743-748, 1971.

HILLEBRAND, O. et al. Chemograph analysis of two herbicides in a German karst aquifer. **Geophysical Research Abstracts**, 2013.

INOUE, M. H. et al. **Calagem e o potencial de lixiviação de imazaquin em colunas de solo. Planta Daninha**, v.20, n.1, p.125-132, 2002.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/>. Acesso em: 19 de setembro de 2023.

KARAM, D., et al. Efeito residual de herbicidas da cultura da soja sobre o milho safrinha. II. **Herbicidas de pós-emergência**. 1995.

LEU, C. et al. **Variability of herbicide losses from 13 fields to surface water within a small catchment after a controlled herbicide application**. Environmental Science and Technology, v.38, n.14, p.3835-3841, 2004.

MANCUSO, M. A. C., et al. “**Efeito residual de herbicidas no solo (‘Carryover’)**”. Revista Brasileira de Herbicidas, v.10, n.2, agosto de 2011, p. 151.

MARCHEZAN, E. et al. **Rice herbicide monitoring in two brazilian river during the rice growing season**. Scientia Agricola, v.64, n.6, p.131-137, 2007.

MONQUERO, P.A. et al. **Lixiviação e persistência dos herbicidas sulfentrazone e imazapic**. Planta daninha, v.28, n.1, p.185- 195, 2010.

MOREIRA, J.C. et al. **Contaminação de águas superficiais e de chuva por agrotóxicos em uma região do estado do Mato Grosso**. Ciência e Saúde Coletiva, v.17, n.6, p.1557-1568, 2012.

MURRAY, K.E.; SHEEBA, M. T.; BODOUR, A.A. **Prioritizing research for trace pollutants and emerging contaminants in the freshwater environment**. Environmental Pollution, v.158, n.12, p.3462-3471, 2010.

NWANI, C.D. et al. **Toxicity of the Herbicide Atrazine: Effects on Lipid Peroxidation and Activities of Antioxidant Enzymes in the Freshwater Fish Channa Punctatus (Bloch)**. International Journal of Environmental Research and Public Health, v.7, n.8, p.3298- 3312, 2010.

OLIVEIRA JR., R. S.; KOSKINEN, W. C.; FERREIRA, F. A. **Sorption and leaching potential of herbicides on Brazilian soils**. Weed Res, v.41, p.97-111, 2001.

QUEIROZ, G.M.P. et al. **Transporte de glifosato pelo escoamento superficial e por lixiviação em um solo agrícola**. Química Nova, v.34, n.2, p.190-195, 2011.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. L. S. **Guia de herbicidas**. Londrina, 6ª ed., 2011. 697p.

ROMAN, E. S. et al. **Como funcionam os herbicidas da biologia à aplicação**. Gráfica Editora Berthier, 2005.

ROSSI, C. V. S. et al. **Mobilidade do sulfentrazone em Latossolo Vermelho e em Chernossolo**. Planta Daninha, v.23, n.4, p.701-710, 2005.

ROHR, J.R.; MCCOY, K.A. A. **Qualitative Meta-Analysis Reveals Consistent Effects of Atrazine on Freshwater Fish and Amphibians - A Review**. Environmental Health Perspectives, v.118, n.1, p.20-32, 2010.

SANCHEZ-MARTIN, M. J.; CRISANTO, T.; ARIENZO, M. **Evaluation of the mobility of C14- labelled pesticides in soils by thin layer chromatography using a linear analyser**. J. Environ. Sci. Health, Part B, v.3, p.473-484, 1994.

SANTOS, E. A. D. et al. **Resíduos de herbicidas em corpos hídricos - Uma revisão**. Revista Brasileira de Herbicidas, v.12, n.2, p.188-201, mai./ago. 2013.

SILVA, D.R.O. et al. **Monitoramento de agrotóxicos em águas superficiais de regiões orizícolas no sul do Brasil**. Ciencia Rural, v.39, n.9, p.2383-2389, 2009.

SILVA, M.D.; PERALBA, M.C.R.; MATTOS, M.L.T. **Determinação de glifosato e ácido aminometilfosfônico em águas superficiais do arroio passo do pilão**. Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente, v.13, n.1, p.19-28, 2003.

SILVA, M.S. et al. **Efeito da associação do herbicida clomazone a nanoesferas de alginato/quitosana na sorção em solos**. Disponível em: <https://www.scielo.br/l/jqn/a/XPbqrrdWwP5fmvJ3jQWtrdS/?lang=pt/>. Acesso em: 10 de outubro de 2023.

SINDAG - Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Agrícola. Disponível em <http://www.sindag.com.br/>. Acesso em: 13 de setembro de 2023.

SOUTHWICK, L. M. et al. **Potential influence of sugarcane cultivation on estuarine water quality of Louisiana's gulf coast**. J. Agric. Food Chem., v.50, n.15, p.4393-4399, 2002.

SOUZA, A. P. et al. **Lixiviação de glyphosate e imazapyr em solos com diferentes texturas e composição química. I. Método do bioensaio**. Planta Daninha, v.18, n.1, p.5-16, 2000.

TANABE, A. et al. **Seasonal and special studies on pesticide residues in surface waters of the Shinano river in Japan**. J. Agric. Food Chem., v.49, n. 7, p.3847-3852, 2001.

TAVELLA, L.B. et al. **O uso de agrotóxicos na agricultura e suas consequências toxicológicas e ambientais**. Agropecuária Científica no Semiárido, v.7, n.2, p.6-12, 2011.

TSAI, W. **A review on environmental exposure and health risks of herbicide paraquat**. Toxicology Environmental Chemistry, v.95, n.2, p.197-206, 2013.

URBAN, D.J.; COOK, N.J. **Hazard Evaluation Division - Standard Evaluation Procedure Ecological Risk Assessment**, U.S. EPA Publication 540/9-86-001, 1986.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. **Integrated Risk Information System**. Disponível em: <http://www.epa.gov/iris/index.html>. Acesso em: 15 de setembro de 2023.

VELINI, E. D. **Comportamento de herbicidas no solo**. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE MANEJO DE PLANTAS DANINHAS EM HORTALIÇAS, 1992, Botucatu. Resumos... Botucatu: 1992. p.44-64.

VENCILL, V.K. **Herbicide Handbook**, 8th ed.; Weed Science Society of America: Lawrence, KS, 2002, 430 p.

VIVIAN, R. et al. **Persistência e lixiviação de ametryn e trifloxysulfuron-sodium em solo cultivado com cana-de-açúcar.** Planta Daninha, v.25, n.1, p. 111-124, 2007.

WAUCHOPE, R. D.; WILLIAMS, R. G.; MARTI, L. R. **Runoff of sulfometurom-methil and cyanazine from small plots: effects of formulation and grass cover.** J. Environ. Qual, v.19, n.1, p.119-125, 1990.

WINTON, K.; WEBER, J. B. **A review of field lysimeter studies to describe the environmental fate of pesticides.** Weed Technol, v.10, p.202-209, 1996.

MANEJO DO SOLO PARA ALTAS PRODUTIVIDADES COM USO DE BASALTO

Data de submissão: 29/11/2023

Data de aceite: 22/12/2023

Elcio Ferreira dos Santos

Instituto Federal of Mato Grosso do Sul,
Nova Andradina – MS
<https://orcid.org/0000-0002-1148-0527>

Karina Renostro Ducatti

Instituto Federal of Mato Grosso do Sul,
Nova Andradina – MS
<https://orcid.org/0000-0002-3744-4786>

Gutierrez Nelson Silva

Instituto Federal of Mato Grosso do Sul,
Nova Andradina – MS
<https://orcid.org/0000-0002-4272-0634>

Mateus Augusto Donega

Instituto Federal of Mato Grosso do Sul,
Nova Andradina – MS
<https://orcid.org/0000-0002-4272-0634>

Marcela Silva Carvalho

Instituto Federal of Mato Grosso do Sul,
Nova Andradina – MS
<http://orcid.org/0000-0002-8996-5743>

RESUMO: O Brasil, devido à sua intensiva produção agrícola, enfrenta desafios associados à alta dependência de fertilizantes importados, notadamente de potássio. Esta dependência, que compromete a balança comercial e a

segurança alimentar, estimula a busca por alternativas sustentáveis para o manejo do solo em altas produtividades. Entre elas, destaca-se a utilização de resíduos da mineração, como o pó de basalto no processo de remineralização. A prática de remineralização, consistindo na aplicação controlada de pó de rocha, apresenta vantagens como baixo custo, liberação gradual de nutrientes, e aprimoramento das propriedades físicas e químicas do solo. Embora histórica, esta prática foi relegada frente à predominância de fertilizantes solúveis. O ressurgimento do pó de basalto, está vinculado à busca por opções frente à importação de fertilizantes, à necessidade de valorizar rejeitos minerários e necessidade de otimização do manejo do solo para altas produtividades. Estudos evidenciam que o pó de basalto, abundante no Brasil, tem potencial para incrementar a produtividade agrícola. Sua aplicação revela benefícios, como liberação controlada de nutrientes, neutralização da acidez do solo, e retenção hídrica. A implementação efetiva desse recurso demanda políticas que incentivem sua adoção, considerando seus impactos positivos na qualidade do solo, redução de custos de produção e contribuição para a sustentabilidade agroambiental. A

promoção do uso de pó de basalto representa uma estratégia promissora para aprimorar a produtividade agrícola brasileira de forma sustentável e resiliente.

PALAVRAS-CHAVE: rochas ígneas, agricultura orgânica, fontes alternativas.

SOIL MANAGEMENT FOR HIGH PRODUCTIVITY USING BASALT

ABSTRACT: Brazil, due to its intensive agricultural production, faces challenges associated with its high dependence on imported fertilizers, notably potassium. This dependence, which compromises the trade balance and food security, encourages the search for sustainable alternatives for soil management with high productivity. Among them, the use of mining waste stands out, such as basalt dust in the remineralization process. The practice of remineralization, consisting of the controlled application of rock powder, presents advantages such as low cost, gradual release of nutrients, and improvement of the physical and chemical properties of the soil. Although historical, this practice was relegated to the predominance of soluble fertilizers. The resurgence of basalt dust is linked to the search for options regarding the import of fertilizers, the need to value mining waste and the need to optimize soil management for high productivity. Studies show that basalt dust, abundant in Brazil, has the potential to increase agricultural productivity. Its application reveals benefits, such as controlled release of nutrients, neutralization of soil acidity, and water retention. The effective implementation of this resource demands policies that encourage its adoption, considering its positive impacts on soil quality, reduction of production costs and contribution to agro-environmental sustainability. Promoting the use of basalt powder represents a promising strategy to improve Brazilian agricultural productivity in a sustainable and resilient way.

KEYWORDS: igneous rocks, organic farming, alternative sources.

O manejo de solo para altas produtividades agrícolas exigem a utilização de grandes quantidades de fertilizantes, tornando o país um dos maiores consumidores mundiais desses insumos. Contudo, a maior parte dos fertilizantes utilizados no Brasil são importados, gerando redução no saldo positivo da balança comercial brasileira. Além disso, essa dependência externa desses insumos implica no maior risco na segurança alimentar do país. Outro fator limitante são os custos elevados do transporte a longas distâncias dos fertilizantes e corretivos no Brasil, que por sua vez reduzem a competitividade da agricultura. Essas características do mercado de insumo no Brasil demonstram a necessidade de fontes alternativas de fertilizantes e corretivos (SILVA et al., 2011; SILVA, 2014; GUELFIL-SILVA et al., 2013; TOSCANI e CAMPOS, 2017). Nesse sentido, destaca-se a utilização de resíduos da atividade de mineração compostos por pós de rochas silicáticas (PRS), que são encontrados na maioria das regiões do país.

Parte dos PRS são considerados passivos ambientais da mineração. Porém, determinados PRS podem apresentar teores de nutrientes relativamente elevados e com potencial no auxílio do manejo nutricional da agricultura por meio da remineralização. A remineralização de solos é uma prática agrícola que consiste na aplicação do PRS, buscando a melhoria nos atributos físico-químicos do solo e aumento de produtividade. Dentre seus

principais aspectos positivos podem ser citados: (1) fornecimento de vários elementos essenciais à planta; (2) liberação lenta e gradual dos nutrientes por períodos de médio a longo prazo, diminuindo as perdas desses nutrientes pela lixiviação; (3) fornecimento de elementos benéficos como o silício; (4) baixo custo do produto; (5) melhoria da qualidade química, física e biológica do solo (BAKKEN et al., 1997; BERTHELIN e LEYVAL, 1982; KNAPIK e ANGELO, 2007; BLEKEN et al., 2008; NOROUZI e KHADEMI, 2010; PRATES et al., 2012).

A aplicação de resíduos de rochas na agricultura como fertilizante já é antiga. Leonardos et al. (1976) relataram respostas positivas na produtividade agrícola em função da aplicação de pó de rocha na década de 70 no Brasil. Contudo a maior eficiência dos fertilizantes solúveis implicou no menor uso de PRS como fontes de nutrientes ou condicionadores de solo na agricultura (BERTHELIN e LEYVAL, 1982; BAKKEN et al., 1997). Nos últimos anos, muitos estudos foram desenvolvidos avaliando os efeitos benéficos dos PRS na agricultura, sendo relatados vários resultados positivos de produtividade, por meio do fornecimento de nutrientes como potássio, cálcio, magnésio, fósforo e micronutrientes (BLEKEN et al., 2008; GUARÇONI e FANTON, 2011; LOURENÇO, 2011; SILVA et al., 2011; GUELFÍ-SILVA et al., 2013).

No Brasil, a revalorização recente dessa prática está ligada a três motivações principais: busca por alternativas para fertilizantes importados; necessidade de aproveitamento de grandes quantidades de rejeitos de pedreiras e mineradoras e; aumento da utilização da agricultura de bases agroecológicas, com restrições ao uso de fertilizantes solúveis e estímulos à utilização de recursos localmente disponíveis (BARSHAD, 1954; FYFE et al., 2006; SILVEROL e MACHADO-FILHO, 2007; BLEKEN et al., 2008; GUARÇONI e FANTON, 2011; GUELFÍ-SILVA et al., 2013).

A incorporação no solo de PRS destaca-se como uma nova alternativa da indústria de fertilizantes, preservando recursos ambientais e criando oportunidades no agronegócio (GUELFÍ-SILVA et al., 2013). Os resultados discutidos na literatura apontam que muitos coprodutos da mineração possuem excelente eficiência agrônômica, bem como vantagens ambientais quando comparados aos fertilizantes concentrados solúveis (BLEKEN et al., 2008; FERNANDES et al., 2010; BAMBERG et al., 2011). A adição de PRS ao solo com finalidades agrícolas tem demonstrado resultados positivos para várias culturas agrícolas. Moreira et al. (2006) relatou respostas positivas da aplicação de PRS basalto no cultivo do girassol e da soja, em função da disponibilidade gradual de potássio. Segundo Theodoro et al (2013) a utilização de PRS basalto gera respostas positivas principalmente pela dupla fertilização de culturas - fertilizantes convencionais + PRS – bem como a possibilidade redução de fertilizantes convencionais, consequentemente, como vantagem a redução de impactos ambientais. Dentre os vários PRS destaca-se o uso do pó de basalto.

Testes de resíduos de mineração de Basalto vêm demonstrando o alto potencial para uso na agricultura. O basalto é uma rocha ígnea extrusiva com altos teores de silicatos

de magnésio e ferro e com baixo conteúdo em sílica em sua composição, sendo uma das rochas mais abundantes na crosta terrestre (RAMOS et al., 2014; RAMOS et al., 2015; RAMOS et al., 2017). Segundo Sak et al. (2004) a sequência de mobilidade de cátions em PRS de basalto ocorre da seguinte forma: $\text{Ca} \approx \text{Na} > \text{K} \approx \text{Mg} > \text{Si} > \text{Al} > \text{Fe} \approx \text{P}$. Atualmente, o pó de basalto é utilizado para melhorar as características edáficas de solos degradados e repor os nutrientes retirados pelas culturas nas colheitas. Vários trabalhos têm avaliado a correlação clara entre o aumento da produtividade de culturas e a aplicação de basalto (GUELFÍ-SILVA et al., 2012; GUELFÍ-SILVA et al., 2014; RAMOS et al., 2015). Além disso, Korchagin et al (2019) relataram que grandes quantidades de resíduos de basalto são acumuladas principalmente no sul do Brasil, enfatizando a necessidade de políticas que incentivem o uso desse resíduo a fim de evitar que ocorra uma questão ambiental insustentável.

O uso de basalto na agricultura oferece diversos benefícios que podem contribuir para altas produtividades. O basalto é uma fonte natural de diversos nutrientes essenciais para as plantas e contribuem para altas produtividades. O basalto tem a capacidade de neutralizar a acidez do solo. Solos ácidos podem limitar a absorção de nutrientes pelas plantas, e a neutralização contribui para um ambiente mais propício ao desenvolvimento das culturas. As propriedades físicas do basalto, como suas argilas expansivas, auxiliam na retenção de água no solo. Isso é particularmente benéfico em regiões sujeitas a períodos de seca, proporcionando um suprimento constante de água para as plantas. Por fim, o uso de basalto pode representar uma alternativa economicamente viável em comparação com fertilizantes solúveis. A remineralização do solo com basalto pode reduzir a necessidade de adubação convencional, contribuindo para a redução dos custos de produção.

Dalmora et al. (2016) avaliando a composição química de diferentes PRS de basalto da indústria de mineração brasileira destacaram a alta possibilidade do uso desse PRS nas adubações de cultivo brasileiras, beneficiando tanto o setor industrial de mineração de basalto, tanto para o setor agropecuário. Korchagin et al (2019) destacam que a composição química e mineralógica do pó de basalto produzido no Brasil possui alto potencial para uso na agricultura como PRS. São inúmeras as vantagens proporcionadas pela utilização do PRS basalto: liberação lenta de nutrientes; menores perdas de nutrientes por lixiviação; redução da acidez do solo; redução da adsorção do fósforo por óxidos; fonte de potássio, micronutrientes e silício para as plantas (STRAATEN, 2007; RAMOS et al., 2014; RAMOS et al., 2015; RAMOS et al., 2017). Além disso, a aplicação de PRS de basalto auxilia na capacidade de retenção de água no solo por meio de suas argilas que possuem um alto poder expansivo (Oliveira, 2012).

Na literatura, alguns trabalhos destacam que o PRS de basalto pode substituir em parte a adubação com fertilizantes solúveis. Toscani e Campos (2017) avaliando os teores de macronutrientes em um Latossolo Vermelho distrófico compararam a adubação com PRS de basalto com fontes de fertilizantes solúveis (40% de N, 30% de P_2O_5 , 10% de

K₂O). Os autores relataram disponibilidade semelhante de K₂O entre o solo adubado com PRS basalto e com o adubo solúvel. Além disso foi observado que a aplicação de Basalto aumentou os teores de fósforo, cálcio e magnésio no solo. Ainda, verificaram que nas parcelas com uso de basalto houve redução da acidez do solo e da saturação por alumínio. Lourenço (2011) testando doses PRS de basalto na produtividade da laranjeira Pêra' (*Citrus sinensis* L.) relataram também que a adubação com PRS pode substituir em parte a adubação com fontes solúveis. Além do efeito no solo, o PRS basalto também modifica a dinâmica nutricional de plantas.

Conceição et al (2022) destacaram que os resultados do teste de incubação mostraram que o pó de basalto aumentou os níveis disponíveis de fósforo, potássio, cálcio e magnésio no solo cerca de vinte, dez, quinze e treze vezes mais do que aqueles sem o pó de basalto, respectivamente. Plantas de milho e feijão cultivadas em solos enriquecidos com pó de basalto apresentaram acúmulos de macro e micronutrientes até cinco vezes maiores que as plantas sem uso de pó de basalto. Esses resultados mostraram a utilidade do pó de basalto no auxílio ao manejo nutricional na agricultura.

Silva et al (2011) avaliando o efeito do PRS basalto no cultivo de feijão, destacaram que o a adubação com PRS de basalto proporcionou aumento no teor de fósforo nos grãos. Já em frutíferas, foi observado por Knapik e Angelo (2007) que a adubação com PRS de Basalto aumenta os teores foliares de cálcio, magnésio, boro e cobre. Welter et al (2011) avaliando o desenvolvimento inicial de mudas de espécies florestais em um Latossolo Amarelo distrófico de textura média, relataram que a PRS de Basalto aumenta a produção de mudas com maior qualidade.

Melo et al. (2012) em um experimento de incubação em vaso por um ano, com doses de basalto moído, observaram que os valores de pH do solo aumentaram com o acréscimo das doses de PRS de basalto, sendo que, a máxima neutralização da acidez ativa ocorreu com 50 t ha⁻¹. Batita (2013) avaliando o efeito do PRS de basalto sobre os atributos químicos do solo e de plantas de soja em Latossolo Vermelho-Amarelo, relatou o efeito do PRS de basalto na redução de acidez do solo, no teor de Al trocável do solo, aumento do P disponível no solo, bem como aumento nas concentrações de macro e micronutrientes em folha de soja e na produção de grãos.

Silva et al (2016) avaliando o efeito da aplicação de pó de basalto em diferentes experimentos relatou efeitos positivos no sistema solo-planta. Foi identificado um incremento nos teores de cálcio, magnésio, silício e potássio trocável no solo no tratamento com PRS de basalto. Motta e Feiden (1992) e Kiehl (2002) constataram que a aplicação de PRS de basalto foi suficiente para elevar o nível de fósforo disponível, comportando-se como uma adubação corretiva em solo arenoso.

Desta maneira, fica evidente que a remineralização com PRS de basalto constitui uma alternativa para a melhoria das propriedades edáficas e por fim o aumento da produtividade, associado também a redução dos custos de produção, uma vez que os

remineralizadores possuem menor preço comparado com fertilizantes solúveis. Para isso é de extrema importância a utilização e popularização do basalto em condições de cultivo brasileiro, desde que o material não apresente elementos tóxicos às plantas, bem como tiver minerais reativos que otimize o manejo nutricional de plantas. Além disso, destaca-se a necessidade de uma política de aceite da comercialização desse tipo de material, ampliando e consolidando o uso do material. Dessa maneira, com base no exposto, fica evidente podemos afirmar que o material secundário, denominado de pó de brita de basalto, resultado obtido do processo de mineração para a produção de britas e outros materiais agregados para uso na construção civil, definido como PRS de basalto, pode ser utilizado na agricultura como uma fonte fornecedora de nutrientes para as plantas, impactando positivamente na melhoria das propriedades químicas e físicas do solo e por conseguinte na produtividade das lavouras.

REFERÊNCIAS

- BAKKEN, A.K.; GAUTNEB, H.; MYHR, K. Plant available potassium in rocks and mine tailings with biotite, nepheline and K-feldspar as K-bearing minerals. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science*, 47(3):129-134, 1997.
- BAMBERG, A.L. *et al.* Dinâmica de liberação de nutrientes disponibilizados por rochas moídas em colunas de lixiviação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33, 2011, Uberlândia. Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas: anais. [Uberlândia]: SBCS: UFU, ICIAG, 2011. 1 CD-ROM.
- BARSHAD, I. Cation Exchange in micaceous minerals: II. Replaceability of ammonium and potassium from vermiculite, biotite, and montmorillonite. *Soil Science*, 78(1): 57-76, 1954.
- BATISTA, T.F.B. Atributos químicos do solo e componentes agronômicos na cultura da soja pelo uso da rochagem. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Goiás, Campus de Jataí, UFG, p. 56, 2013.
- BERTHELIN, J.; LEYVAL, C. Ability of symbiotic and non-symbiotic rhizospheric microflora of maize (*Zea mays*) to weather micas and to promote plant growth and plant nutrition. *Plant and Soil*, 68(3):369-377, 1982.
- BLEKEN, M.A., KROGSTAD, T., SPEETJENS, K., HELM, M. Use of a mixture of biotite- and apatite-rich rock powder in a soil with inherent low soil fertility. In D. Neuhoﬀ, N. Halberg, T. Alföldi, W. Lockeretz, A. Thommen, I. A. Rasmussen, H. Willer (Eds.), *Cultivating the Future Based on Science*, v. 1 - Organic Crop Production (ISO FAR, Mo, pp. 90–93). International Society of Organic Agriculture Research, 2008.
- CONCEIÇÃO, L. T. *et al.* Potential of basalt dust to improve soil fertility and crop nutrition. *Journal of Agriculture and Food Research*, v. 10, p. 100443, dez. 2022.
- DALMORA, A.C.; RAMOS, C.G.; OLIVEIRA, M.L.S.; TEIXEIRA, E.C.; KAUTZMANN, R.M.; TAFFAREL, S.R.; DE BRUM, I.A.S.; SILVA, L.F.O. Chemical characterization, nano-particle mineralogy and particle size distribution of basalt dust wastes. *Science of the Total Environment*, v. 539, p. 560-565, 2016.

FERNANDES, F.R.C.; LUZ, A.B.; CASTILHOS, Z.C. (Ed.). Agrominerais para o Brasil. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral, 2010. 380 p.

FYFE, W.S.; LEONARDOS, O.H.; THEODORO, S.H. The use of rocks to improve family agriculture in Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 78(4): 721-730, 2006.

GUARÇONI, A.; FANTON, C.J. Resíduo de beneficiamento do granito como fertilizante alternativo na cultura do café. *Ciência Agronômica*, 42: 16-26, 2011

GUELFÍ-SILVA, D.R. *et al.* Agronomic efficiency of potassium fertilization in lettuce fertilized with alternative nutrient sources. *Revista Ciência Agronômica*, 44(2), 267-277, 2013.

GUELFÍ-SILVA, D.R. *et al.* Characterization and nutrient release from silicate rocks and influence on chemical changes in soil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36(3), 951-962, 2012.

GUELFÍ-SILVA, D.R. *et al.* Yield, nutrient uptake and potassium use efficiency in rice fertilized with crushed rocks. *African Journal of Agricultural Research*, 9, 455-464, 2014.

KIEHL, E.J. Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto, Piracicaba: 2002, 171 p.

KNAPIK, J. G.; ANGELO, A. C. Pó de basalto e esterco equino na produção de mudas de *Prunus Sellowii* Koehne (Rosaceae). *Floresta (UFPR)*, v. 37, p. 427-436, 2007.

KNAPIK, J.G.; ANGELO, A.C. Pó de basalto e esterco equino na produção de mudas de *Prunus sellowii* Koehne (ROSACEAE). *Floresta*, 37: 427-436, 2007.

KORCHAGIN, J.; CANER, L.; BORTOLUZZI, E.C. Variability of amethyst mining waste: a mineralogical and geochemical approach to evaluate the potential use in agriculture. *Journal of Cleaner Production*, v. 210, p. 749-758, 2018.

LEONARDOS, O.H.; FYFE, W.S.; KRONBERG, B.I. Rochagem O método de Aumentada Fertilidade em Solos Lixiviados e Arenosos. Congresso Brasileiro de Geologia, 29, Anais, Belo Horizonte, pp. 137-145, 1976

LOURENÇO, B.A. Desenvolvimento de Laranja 'Pêra' *Citrus Sinensis* (L.) Osbeck Enxertada em Limoeiro 'Cravo' (*Citrus Limonia*) e Cultivada com Pó de Basalto. Dissertação de Mestrado. Instituto de Biociências, Campus de Botucatu, UNESP, p. 87, 2011.

MELO, V.F.; UCHÔA, S.C.P.; DIAS, F.U.; BARBOSA, G.F. Doses de basalto nas propriedades químicas de um Latossolo Amarelo Distrófico da Savana de Roraima. *Acta Amazônica*, 42: 471-476, 2012.

MOREIRA, A.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F.A.; SALINET, L.H.; SFREDO, G.J. Efeito residual de rochas brasileiras como fertilizantes e corretivos da acidez do solo. *Espaço & Geografia*, 9: 163-177, 2006.

MOTTA, A.C.V.; FEIDEN, A. Avaliação do P em LE submetido a diferentes doses de basalto. *Agrárias*, Curitiba, v.12, n. 1, p. 47-54, 1992.

NOROUZI, S.; KHADEMI, H. Ability of alfalfa (*Medicago sativa* L.) to take up potassium from different micaceous minerals and consequent vermiculitization. *Plant and Soil*, 328(1-2):83-93, 2010.

OLIVEIRA, F.A.; CASTRO, C.; MOREIRA, A.; ROSA, J.L. Eficiência da adubação residual com rochas brasileiras para a cultura da soja. *Espaço & Geografia*, 9: 231-246. 2006.

PRATES, F.B.S. *et al.* Crescimento de mudas de pinhão-mansão em resposta a adubação com superfosfato simples e pó-de-rocha. *Revista Ciência Agronômica*, 43: 207-213, 2012.

RAMOS, C.E.G.; QUEROL, X.; DALMORA, A.C.; PIRES, K.C.; SCHNEIDER, L.A.H.; OLIVEIRA, L.E.F.S.; KAUTZMANN, R.M. Evaluation of the potential of volcanic rock waste from southern Brazil as a natural soil fertilizer. *Journal of Cleaner Production*, 142, 2700-2706, 2017.

RAMOS, C.G.; MELLO, A.G.; KAUTZMANN, R.M. A preliminary study of acid volcanic rocks for stonemeal application. *Environ. Nanotechnol. Monit. Manag.* 1-2, 30-35, 2014.

RAMOS, E.G.; QUEROL, X.; OLIVEIRA, M.L.; PIRES, K.; KAUTZMANN, R.M.; OLIVEIRA, L.F.S. Preliminary evaluation of volcanic rock powder for application in agriculture as soil a remineralizer. *Science of the Total Environment*, 512513, 371-380, 2015.

SAK, P.B.; FISHER, D.M.; GARDNER, T.W.; MURPHY, K.; BRANTLEY, S.L. Rates of weathering rind formation on Costa Rican basalt. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Amsterdam, v. 68, n. 7, p. 1453–1472, apr. 2004.

SILVA, E.A.; PEREIRA, T.; COELHO, C.M.M.; ALMEIDA, J.A.; SCHMITT, C. Teor de Fitato e proteína em Grãos de Feijão em Função da Aplicação de Pó de Basalto. *Acta Sci. Agron. Maringá* 33 (1), 147–152, 2011.

SILVA, R.C., 2014. Intemperismo de minerais de um remineralizador. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Campus de Piracicaba, USP, p. 184.

SILVEROL, A.C.; MACHADO FILHO, L. Utilização de pó de granito e manto de alteração de piroxenito para fertilização de solos. *Revista Brasileira de Agroecologia*, 2: 703-707, 2007.

STRAATEN, P.V., 2007. *Agrogeology: the Use of Rocks for Crops*. Enviroquest, Cambridge, Ontario, Canada.

THEODORO, S.H. *et al.* Efeito do uso da técnica de rochagem e adubação orgânica em solos tropicais. In: II Congresso Brasileiro de Rochagem, 2013, Poços de Caldas. *Anais do II Congresso Brasileiro de Rochagem*. Visconde do Rio Branco/MG: SUPREMA, 2013. v. 1. p. 322-42

TOSCANI, R.; CAMPOS, J.E.C. Uso de pó de basalto e rocha fosfatada como remineralizadores em solos intensamente intemperizados. *Geociências*, v. 36, p. 259, 2017.

UTILIZAÇÃO DE CONCENTRADOS DE APATITA NO MANEJO DO SOLO

Data de submissão: 29/11/2023

Data de aceite: 22/12/2023

Elcio Ferreira dos Santos

Instituto Federal of Mato Grosso do Sul,
Nova Andradina – MS
<https://orcid.org/0000-0002-1148-0527>

Karina Renostro Ducatti

Instituto Federal of Mato Grosso do Sul,
Nova Andradina – MS
<https://orcid.org/0000-0002-3744-4786>

Gutierrez Nelson Silva

Instituto Federal of Mato Grosso do Sul,
Nova Andradina – MS
<https://orcid.org/0000-0002-4272-0634>

Mateus Augusto Donega

Instituto Federal of Mato Grosso do Sul,
Nova Andradina – MS
<https://orcid.org/0000-0002-4272-0634>

Marcela Silva Carvalho

Instituto Federal of Mato Grosso do Sul,
Nova Andradina – MS
<http://orcid.org/0000-0002-8996-5743>

RESUMO: A apatita é um mineral encontrado em rochas ígneas, sedimentares e metamórficas, como uma fonte crucial de fósforo (P) na fabricação de ácido fosfórico para fertilizantes. Presente em diversas formações geológicas, a apatita

é comumente extraída de depósitos sedimentares e ígneos, sendo estes últimos predominantes no Brasil. O P é essencial para o crescimento das plantas, mas sua disponibilidade no solo é frequentemente limitada, especialmente em regiões tropicais. O Brasil, um dos maiores consumidores de fertilizantes fosfatados, enfrenta desafios na eficiência desses insumos, influenciada pela composição, cultura e propriedades do solo. O uso prevalente de fosfatados solúveis, embora aumente rapidamente os teores de fósforo disponível, também favorece reações de adsorção, tornando-o indisponível para as plantas. Além disso, a produção de fosfatados solúveis envolve processos dispendiosos e impactos ambientais significativos. Diante desse cenário, o presente capítulo destaca os concentrados de apatita como alternativas mais sustentáveis. Estudos indicam que esses concentrados podem elevar os teores de fósforo no solo, proporcionando resultados agrônômicos semelhantes aos fertilizantes solúveis. Em um contexto global de preocupação com a finitude dos recursos fosfatados, a busca por fontes alternativas, como a apatita, torna-se crucial para garantir a segurança alimentar e a sustentabilidade agrícola.

PALAVRAS-CHAVE: adubação fosfatada, agricultura orgânica, fontes alternativas.

USE OF APATITE CONCENTRATE IN SOIL MANAGEMENT

ABSTRACT: Apatite is a mineral found in igneous, sedimentary and metamorphic rocks, as a crucial source of phosphorus (P) in the manufacture of phosphoric acid for fertilizers. Present in several geological formations, apatite is commonly extracted from sedimentary and igneous deposits, the latter being predominant in Brazil. P is essential for plant growth, but its availability in soil is often limited, especially in tropical regions. Brazil, one of the largest consumers of phosphate fertilizers, faces challenges in the efficiency of these inputs, influenced by the composition, culture and properties of the soil. The prevalent use of soluble phosphates, although it quickly increases the levels of available phosphorus, also favors adsorption reactions, making it unavailable to plants. Furthermore, the production of soluble phosphates involves expensive processes and significant environmental impacts. Given this scenario, this chapter highlights apatite concentrates as more sustainable alternatives. Studies indicate that these concentrates can increase phosphorus levels in the soil, providing agronomic results similar to soluble fertilizers. In a global context of concern about the finiteness of phosphate resources, the search for alternative sources, such as apatite, becomes crucial to guarantee food security and agricultural sustainability.

KEYWORDS: phosphate fertilizer, organic agriculture, alternative sources.

A apatita é um mineral comum largamente disseminado como mineral acessório em rochas ígneas, sedimentares e metamórficas. É considerada um mineral-minério de fósforo (com teor variando de 5 a 15% de P_2O_5). Devido ao componente fósforo, a principal aplicação da apatita é na fabricação de ácido fosfórico, como matéria-prima para fertilizantes. De maneira geral, a apatita pode ser encontrado pegmatitos de origem hidrotermal, corpos de magnetita titanífera e em rochas alcalinas (KLEIN & DUTROW, 2012). Em rochas ígneas ocorre como acessório de cristalização inicial, em grãos bem pequenos, (granitos, monzonitos, monzodioritos, sienitos, rochas alcalinas, carbonatitos, lamprófiros, pegmatitos graníticos), podendo formar ganga em veios hidrotermais de minerais estaníferos (UFRGS, 2020). Também podem ser formados por hidroxi- e flúor-apatita, magnetita, olivina, diopsídio e flogopita (KRASNOVA et al., 2004).

Em rochas metamórficas é estável em uma extensa faixa de pressão e temperatura, ocorrendo em mármores, escarnitos e cornubianitos, normalmente em grãos muito pequenos, podendo ser como colofano (UFRGS, 2020). Em rochas sedimentares a apatita é comum como grão detrital ou diagenético e pode formar camadas. Exibe formas oolíticas, esferulíticas e botrioidais. A variedade criptocristalina botrioidal, chamada de colofano, formada a partir de material esquelético (ossos). As carbonato-apatitas tendem a ser mais reativas que os outros tipos de apatita (KAMINSKI & PERUZZO, 1997; NATHAN, 1984). Além disso, ainda podem ocorrer também em argilitos, folhelhos e conglomerados (UFRGS, 2020). Assim colocado, o concentrado de apatita é obtido em jazidas de origem sedimentar, ígnea, e metamórfica, sendo as duas primeiras de maior importância econômica no mundo,

perfazendo 85% e 15% da oferta mundial, respectivamente (SOUZA & FONSECA, 2009). No Brasil, por outro lado, os depósitos de origem ígnea equivalem a 80% das jazidas existentes (SOUZA & FONSECA, 2009). Uma vez que os concentrados de apatita apresentam menor preço comparado às fontes aciduladas, estes podem se tornar boas alternativas no manejo de fertilidade do solo como fonte de fósforo (KPOMBLEKOU-A & TABATABAI, 2003).

É importante salientar que o fósforo (P) é considerado um elemento essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Este macronutriente faz parte de estruturas do metabolismo vegetal (e.g. açúcares-fosfatos, fosfolípidios, ácidos nucleicos, nucleotídeos) e participa das relações de transporte e armazenamento de energia. Destaca-se que esse nutriente é um dos mais limitantes para a produção agrícola brasileira (MALAVOLTA, 1997). Na maioria solos em regiões de clima tropical, o P que não é absorvido pelas raízes das plantas ou imobilizado pelos microrganismos é adsorvido na superfície de óxidos de ferro e alumínio. Esses complexos químicos apresentam baixa solubilidade em determinadas condições de pH (NOVAIS et al., 2007). Isso faz com que a quantidade de P encontrada na solução do solo seja muito menor que aquela necessária para a alta produtividade agrícola (SHEN et al., 2011).

Em solos ácidos, o P é fixado na forma de fosfatos insolúveis de ferro e alumínio, enquanto em solos alcalinos é encontrado principalmente como fosfato de cálcio. Portanto, a cada ciclo de cultivo, as plantas devem receber constantemente suplementação de P através de adubação química. Os fertilizantes fosfatados são tradicionalmente produzidos por tratamento químico em alta temperatura de rochas fosfáticas com ácido sulfúrico, um processo que apresenta riscos potenciais ao meio ambiente e não é economicamente viável devido ao alto consumo de energia. A apatita, uma rocha fosfática natural, é a principal fonte de fósforo, e cerca de 85% dela é consumida pela indústria de fertilizantes fosfatados. Marrocos tem as maiores reservas de fosfato bruto, e as maiores também foram criadas na China (45% da produção total de fosfato, 2018), nos EUA e na Rússia (TIMOFEEVA et al., 2023).

As perturbações no fluxo biogeoquímico de P devido à sua produção para uso agrícola excederam as margens de segurança para as atividades humanas. A FAO estabeleceu restrições à utilização de fertilizantes fosfatados contendo metais pesados, em particular cádmio, enquanto menos de um terço das reservas mundiais comprovadas de rochas fosfáticas são fosfatos com um teor inferior a 20 mg/kg. Deve-se também notar que o P é um recurso não renovável e os seus fornecimentos são limitados, criando preocupações sobre as suas fontes futuras. No entanto, apenas uma pequena quantidade de P adicional poderia ser utilizada, enquanto a maior parte dele é depositada no solo. Portanto, o uso generalizado de fertilizantes químicos à base de P tem um impacto negativo na fertilidade do solo, no desenvolvimento das plantas e na qualidade dos produtos agrícolas, bem como nos recursos hídricos, causando a sua eutrofização. Os problemas ambientais associados à fertilização chamam a atenção para a busca de abordagens alternativas para atender

às necessidades das plantas por P disponível (BOLAN et al., 1990; REDDY et al., 1999; ZAPATA & ROY, 2004; STAMFORD et al., 2007).

De janeiro a julho/2020 o Brasil consumiu aproximadamente 20 milhões de toneladas, registrando crescimento de 15,7% em relação ao ano 2019 (ANDA, 2021). O Brasil é um dos maiores consumidores de fosfatados do mundo, ocupando a terceira posição desde 2014, perdendo apenas para a China e a Índia, sendo também um grande importador mundial desse insumo (ANDA, 2021). Porém, a eficiência dos fertilizantes fosfatados varia de acordo com a composição do fertilizante aplicado, com a cultura utilizada e com as propriedades edáficas da região (CHIEN & MENON, 1995).

Na agricultura brasileira é muito comum o uso de fosfatados solúveis (NOVAIS et al., 2007). O uso de fertilizantes solúveis nos solos, aumenta rapidamente os teores de P disponíveis, o que favorece a absorção pelas plantas em sua fase inicial de desenvolvimento. Contudo essa alta solubilidade também favorece as reações de adsorção do P com o solo. Essas reações são mais intensas em solos bem intemperizados, onde, na fração argila, há predomínio de oxihidróxidos de ferro e alumínio; e de minerais 1:1, uma vez que o P da solução se ligará às superfícies desses minerais, que o tornará indisponível para as plantas (não lábil), devido à alta energia dessas ligações (SHEN et al., 2011). Outro fator preocupante no uso de fontes de P solúveis é o seu complexo e oneroso processo de produção.

A produção de fontes fosfatadas solúveis exige alta quantidade energia e grandes quantidades de reagentes químicos (ácido sulfúrico e/ou fosfórico), encarecendo muito seu custo e gerando passivos ambientais, como o residual de ácidos do processo químico de extração e descarte de rejeitos da mineração em grandes volumes no ambiente (CEKINSKI, 1990). Isso faz com que sejam buscadas fontes alternativas e mais eficientes, como o uso de concentrados de apatita, também designados como fosfatos naturais (BOLAN et al., 1990; REDDY et al., 1999; ZAPATA & ROY, 2004; STAMFORD et al., 2007).

Em um contexto global de preocupação com a finitude dos recursos fosfatados, a apatita representa uma fonte sustentável encontrada em diversas formações geológicas, incluindo rochas ígneas, sedimentares e metamórficas. A diversidade de origens geológicas aumenta a disponibilidade desse recurso. Estudos indicam que concentrados de apatita podem aumentar os níveis de fósforo no solo, proporcionando resultados agrônômicos comparáveis aos fertilizantes solúveis. Essa eficiência agrônômica é essencial para garantir a produtividade das culturas (RAWASHDEH, 2020).

Em comparação com a produção de fosfatos solúveis, a extração e utilização de apatita concentra não apenas uma fonte mais acessível de P, mas também reduz os impactos ambientais associados aos processos químicos e descarte de resíduos da mineração. A dependência excessiva de fosfatos solúveis pode levar a problemas como adsorção no solo e altos custos de produção. A apatita oferece uma alternativa que pode ajudar a diversificar as fontes de fósforo na agricultura, contribuindo para práticas mais

sustentáveis e econômicas.

O manejo de P através do uso de apatita estão ganhando destaque nos últimos anos. Biswas et al (2022) examinaram a transformação de apatita em ao longo de um período de 10 anos, usando um conjunto de técnicas microscópicas e espectroscópicas baseadas em síncrotron. O fornecimento de P ao solo pelo concentrado de apatita ocorre dentro de meses através da dissociação organomineral e da desmineralização, contudo, esse fornecimento se torna maior em longos períodos de tempos. Os autores relataram que a alta resolução revelam uma decomposição microbiana dependente do estágio, dissolução de P e imobilização através da formação mineral secundário ao longo do tempo.

Zucareli et al. (2018) avaliando o crescimento e o desempenho produtivo do feijoeiro em resposta à aplicação isolada ou associada de fontes naturais e solúvel de fósforo, relataram que resultados semelhantes foram observados para o uso de fertilizantes solúveis e fosfatos naturais. Em eucalipto o fosfato natural reativo de Bayovar demonstrou eficiência similar ao uso de fertilizante fosfatado solúvel referência, podendo ser uma alternativa para a utilização na produção de mudas de eucalipto (DE SOUZA MAGALHÃES et al., 2017).

Telles et al. (2020) avaliando o uso desses materiais como alternativas para substituir os fosfatos solúveis de alto custo, relataram que as diferentes fontes utilizadas foram capazes de aumentar significativamente os teores de P lábil e moderadamente lábil no solo. Os mesmos autores, avaliaram a eficiência agrônômica em milho e também relataram crescimento semelhante em plantas adubadas com fontes naturais de fósforo e fertilizantes fosfatados solúveis.

Timofeeva et al. (2023) em um estudo de dois anos, analisou o uso de apatita combinado com vários microrganismos solubilizadores de P do gênero *Bacillus* para produção de azevém (*Lolium multiflorum*). Os autores relataram que o uso de concentrados de apatita incrementou o crescimento de azevém, porém a combinação do concentrado de apatita com microrganismos solubilizadores de P pode substituir fontes de P solúvel.

Nas últimas décadas, diante da possibilidade de os recursos fosfatados chegarem ao fim, têm sido publicados vários trabalhos indicando que esse recurso não duraria mais de 100 anos (STEEN, 1998; SMIL, 2000; CORDELL et al., 2009; FIXEN, 2009; ROSEMARIN et al., 2009; SMIT et al., 2009; VACCARI, 2009; COOPER et al., 2011; WITHERS et al., 2015). Alguns autores destacam que uma crise de fornecimento pode ocorrer nos próximos 50 anos (RAWASHDEH, 2020). Desta maneira é importante identificar novas fontes fosfatadas que possam auxiliar no manejo nutricional de P das culturas. Nesse sentido, insere-se a importância do uso dos concentrado de apatita. Apesar da baixa disponibilidade de fósforo na apatita de origem ígnea, atualmente o aumento da intensidade biológica dos sistemas produtivos e do manejo com bioinsumos aumenta o potencial destas fontes nos sistemas produtivos (FAGERIA et al., 2017; GULL et al., 2004; MUPONDI et al., 2018; SOUCHIE, 2005; TAKTEK et al., 2017).

A apatita, como fonte alternativa de P, desempenha um papel crucial na segurança

alimentar, fornecendo um recurso essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas. A sua utilização eficiente é vital para garantir a produtividade agrícola e a oferta de alimentos.

REFERÊNCIAS

- ANDA. Mercado de Fertilizantes Janeiro-Julho/2020. Associação Nacional para Difusão de Adubos, 2021. Disponível em: <<https://anda.org.br/wp-content/uploads/2020/12/Comentarios.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2021
- BISWAS, P. P. et al. Sustainable phosphorus management in soil using bone apatite. *Journal of Environmental Management*, v. 305, p. 114344, 1 mar. 2022.
- BOLAN, N.; WHITE, R.; HEDLEY, M. A review of the use of phosphate rocks as fertilizers for direct application in Australia and New Zealand. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, v. 30, p. 297–313, 1990.
- BRUMATTI, M. (2007). Mineralogia aplicada ao beneficiamento das zonas de xenólitos, Mina de Cajati, SP. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. doi:10.11606/D.3.2007.tde-28032008-175930. Recuperado em 2021-03-18, de www.teses.usp.br.
- CEKINSKI, E. Fertilizantes Fosfatados. In: CEKINSKI, E.; CALMONOVICI, C. E.; BICHARA, J. M.; FABIANI, M.; GIULIETTI, M.; CASTRO, M. L. M. M.; SILVEIRA, P. B. M.; PRESSIONOTTI, Q. S. H. C.; GUARDANI, R. (Ed.). *Tecnologia de Produção de Fertilizantes*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1990. p. 95–129.
- CHIEN, S. H.; MENON, R. G. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. *Fertilizer Research*, v. 41, p. 227–234, 1995.
- COOPER, J.; LOMBARDI, R.; BOARDMAN, D.; CARLIELL-MARQUET, C. The future distribution and production of global phosphate rock reserves. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 57, p. 78–86, 2011.
- CORDELL, D.; DRANGERT, J. O.; WHITE, S. The story of phosphorus: Global food security and food for thought. *Global Environmental Change*, v. 19, p. 292–305, 2009.
- DERBY, O.A. The magnetite ore districts of Jacupiranga and Ipanema, São Paulo, Brazil. *American Journal of Science*, Series 3, New Haven, v. 141, p. 311–321.
- DE SOUZA MAGALHÃES, C. A.; MOURA MORALES, M.; ABREU REZENDE, F. Y.; LANGER, J. Eficiência de fertilizantes organominerais fosfatados em mudas de eucalipto. *Scientia Agraria*, 18:80–85, 2017.
- FAGERIA, N. K.; HE, Z.; BALIGAR, V. C. Phosphorus management in crop production. CRC Press., 374 p., 2017.
- FIXEN, P. E. World Fertilizer Nutrient Reserves- A View to the Future. In: *Better Crops with Plant Food*. v.93, p. 8–11, 2009.
- GULL, M.; HAFEEZ, F. Y.; SALEEM, M.; MALIK, K. A. Phosphorus uptake and growth promotion of chickpea by co-inoculation of mineral phosphate solubilizing bacteria and a mixed rhizobial culture. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, Collingwood, v.44, n.6, p.623–628, 2004.

KAMINSKI, J.; PERUZZO, G. Eficácia de fosfatos naturais reativos em sistemas de cultivo. *Boletim Técnico* nº3, Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo., v. 10, p. 1–10, 1997.

KLEIN, C. & DUTROW, B. *Manual de Ciência dos Minerais*, 23a ed. Bookman, 2012. 716 p.

KPOMBLEKOU-A, K.; TABATABAI, M. A. Effect of low-molecular weight organic acids on phosphorus release and phytoavailability of phosphorus in phosphate rocks added to soils. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 100, p. 275–284, 2003.

KRASNOVA, N. I.; PETROV, T. G.; BALAGANSKAYA, E. G.; GARCIA, D.; MOUTTE, J.; ZAITSEV, A. N.; Wall, F. Introduction to phoscorites: occurrence, composition, nomenclature and petrogenesis. In *Phoscorites and carbonatites from mantle to mine: the key example of the Kola Alkaline Province* (Vol. 10, pp. 45–74), 2004. Mineralogical Society London.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MELCHER, G.C. O carbonatito de Jacupiranga. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo. Ser. Geologia*, São Paulo, n. 21, p. 175, 1965.

NOVAIS, R. F. de; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F. DE; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F. DE; FONTES, R. L.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). *Fertilidade do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 471–537.

TIMOFEEVA, T.A.; CHEBOTAR, V.K.; DEMIDOV, D.V.; GAIDUKOVA, S.E.; YAKOVLEVA, I.V.; KAMIONSKAYA, A.M. Effects of Apatite Concentrate in Combination with Phosphate-Solubilizing Microorganisms on the Yield of Ryegrass Cultivar Izorskiy. *Agronomy* 2023, 13, 1568. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061568>

RAWASHDEH, R. World peak potash: An analytical study. *Resources Policy*, 69, 101834, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101834>

REDDY, D. D.; RAO, A. S.; REDDY, K. S.; TAKKAR, P. N. Yield sustainability and phosphorus utilization in soybean-wheat system on Vertisols in response to integrated use of manure and fertilizer phosphorus. *Field Crops Research*, v. 62, p. 181–190, 1999.

ROSEMARIN, A.; DE BRUIJNE, G.; CALDWELL, I. The next inconvenient truth: Peak phosphorus. *The Broker*, p. 1–6, 2009.

RUBERTI, E.; MARGUTI, R.L.; GOMES, C.B. O Complexo Carbonatítico de Jacupiranga, SP: informações gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37., 1992, São Paulo. *Roteiro das excursões*. São paulo: SBG, 1992. v.4, 16 p.

SHEN, J.; YUAN, L.; ZHANG, J.; LI, H.; BAI, Z.; CHEN, X.; ZHANG, W.; ZHANG, F. Phosphorus dynamics: from soil to plant. *Plant physiology*, v. 156, p. 997–1005, 2011.

SMIL, V. Phosphorus in the environment: Natural Flows and Human Interferences. *Annual Review of Energy and the Environment*, v. 25, p. 53–88, 2000.

SMIT, A. L.; BINDRABAN, P. S.; SHROEDER, J. J.; CONIJIN, J. G.; G, V. D. M. H. Phosphorus in agriculture: global resources, trends and developments. *Plant Research International*, 2009. 36p.

SOUZA, A.E.; FONSECA D.S. Fosfato. In: Rodrigues A.F.S. (coord.). Economia Mineral do Brasil. Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Brasília, p. 546-568, 2009.

STAMFORD, N. P.; SANTOS, P. R.; SANTOS, C. E. S.; FREITAS, A. D. S.; DIAS, S. H. L.; LIRA, M. A. Agronomic effectiveness of biofertilizers with phosphate rock, sulphur and *Acidithiobacillus* for yam bean grown on a Brazilian tableland acidic soil. *Bioresource Technology*, v. 98, p. 1311–1318, 2007.

STEEN, I. Phosphorus availability in the 21st Century: management of a non- renewable resource. *Phosphorus and Potassium*, v. 217, p. 25–31, 1998.

SOUCHIE, E. L. Solubilização de fosfatos em meios sólido e líquido por bactérias e fungos do solo. *Revista Pesquisa agropecuária brasileira*, Brasília, v.40, n.11, p.1149-1152, nov. 2005.

TAKTEK, S.; ST-ARNAUD, M.; PICHÉ, Y.; FORTIN, J. A.; ANTOUN, H. Igneous phosphate rock solubilization by biofilm-forming mycorrhizobacteria and hyphobacteria associated with *Rhizoglyphus irregularis* DAOM 197198. *Mycorrhiza*, 27(1), 13–22, 2017. <https://doi.org/10.1007/s00572-016-0726-z>

TELES, A. P. B.; RODRIGUES, M.; PAVINATO, P. S. Solubility and Efficiency of Rock Phosphate Fertilizers Partially Acidulated with Zeolite and Pillared Clay as Additives. *Agronomy-Basel*, 10:918, 2020.

UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. APATITA – $(\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F},\text{OH},\text{Cl}))$. Versão dez/2020. Acesso em 15/03/2021 <<https://www.ufrgs.br/minmicro/Apatita.pdf>>.

VACCARI, D. A. Phosphorus: A Looming. *Scientific American*, p. 54–59, 2009. Disponível em: <<http://web.mit.edu/12.000/www/m2016/pdf/scientificamerican0609-54.pdf>>. Acesso em: 22 jan. 2018

WITHERS, P. J. A.; VAN DIJK, K. C.; NESET, T. S. S.; NESME, T.; OENEMA, O.; RUBÆK, G. H.; SCHOUmans, O. F.; SMIT, B.; PELLERIN, S. Stewardship to tackle global phosphorus inefficiency: The case of Europe. *Ambio*, v. 44, p. 193–206, 2015.

ZAPATA, E.; ROY, R. Use of phosphate rocks for sustainable agriculture. *Fertilizer and plant nutrition bulletin* 13. Rome: FAO, 2004.

ZUCARELI C.; BARZAN R. R.; SILVA J. B.; CHAVES D. P. Associação de fosfatos e inoculação com *Bacillus subtilis* e seu efeito no crescimento e desempenho produtivo do feijoeiro. *Rev. Ceres*, 65: 189-195, 2018.

MICAXISTO NO MANEJO DO SOLO INCREMENTO DE PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA

Data de submissão: 29/11/2023

Data de aceite: 22/12/2023

Elcio Ferreira dos Santos

Instituto Federal of Mato Grosso do Sul,
Nova Andradina – MS
<https://orcid.org/0000-0002-1148-0527>

Karina Renostro Ducatti

Instituto Federal of Mato Grosso do Sul,
Nova Andradina – MS
<https://orcid.org/0000-0002-3744-4786>

Gutierrez Nelson Silva

Instituto Federal of Mato Grosso do Sul,
Nova Andradina – MS
<https://orcid.org/0000-0002-4272-0634>

Mateus Augusto Donega

Instituto Federal of Mato Grosso do Sul,
Nova Andradina – MS
<https://orcid.org/0000-0002-4272-0634>

Marcela Silva Carvalho

Instituto Federal of Mato Grosso do Sul,
Nova Andradina – MS
<http://orcid.org/0000-0002-8996-5743>

RESUMO: A elevada dependência do Brasil na importação de fertilizantes, especialmente potássio (K), gera impactos adversos na balança comercial e na segurança alimentar. Diante desse desafio, tem havido um aumento significativo na

busca por alternativas visando otimizar o manejo do solo. Uma dessas alternativas promissoras para fornecer K ao solo é o uso de pós de micaxisto. Este capítulo apresenta resultados promissores do uso de micaxisto em diversas culturas, como arroz, alface, soja, milho e cana-de-açúcar. Os benefícios observados incluem melhorias na disponibilidade de nutrientes, aumento na produtividade e maior eficiência no uso de K. Apesar dos resultados positivos, destaca-se a necessidade premente de popularizar o uso de micaxisto na agricultura brasileira como uma fonte mais acessível de nutrientes, ressaltando sua eficácia e os impactos benéficos nas propriedades do solo. Contudo, é imperativo considerar a procedência do micaxisto, pois a presença comum de elementos tóxicos nesses resíduos de mineração levanta preocupações. Nesse contexto, é crucial que políticas sejam implementadas para incentivar a comercialização responsável desse material, consolidando seu uso na agricultura regional. Essas políticas devem incluir medidas para garantir a qualidade e a segurança do micaxisto utilizado, mitigando quaisquer riscos potenciais à saúde humana e ambiental. Ao fazê-lo, o Brasil pode reduzir sua dependência

de fertilizantes importados, promover a sustentabilidade agrícola e fortalecer a segurança alimentar no cenário nacional.

PALAVRAS-CHAVE: remineralizador, potássio, fontes alternativas.

MICA SCHIST IN SOIL MANAGEMENT, INCREASING AGRICULTURAL PRODUCTIVITY

ABSTRACT: Brazil's high dependence on imports of fertilizers, especially potassium (K), generates adverse impacts on the trade balance and food security. Faced with this challenge, there has been a significant increase in the search for alternatives to optimize soil management. One of these promising alternatives to supply K to the soil is the use of mica schist powders. This chapter presents promising results from the use of mica schist in several crops, such as rice, lettuce, soybeans, millet and sugar cane. The observed benefits include improvements in nutrient availability, increased productivity and greater efficiency in the use of K. Despite the positive results, there is a pressing need to popularize the use of mica schist in Brazilian agriculture as a more accessible source of nutrients, highlighting its effectiveness and beneficial impacts on soil properties. However, it is imperative to consider the origin of the mica schist, as the common presence of toxic elements in these mining residues raises concerns. In this context, it is crucial that policies are implemented to encourage the responsible commercialization of this material, consolidating its use in regional agriculture. These policies must include measures to ensure the quality and safety of the mica schist used, mitigating any potential risks to human and environmental health. By doing so, Brazil can reduce its dependence on imported fertilizers, promote agricultural sustainability and strengthen food security nationally.

KEYWORDS: remineralizer, potassium, alternative sources.

A alta produtividade agrícola do Brasil exige a utilização de altas quantidades de fertilizantes, tornando o país um dos maiores importadores mundiais deste insumo, especialmente do potássio (K), do qual é dependente de 95% do total aplicado na agricultura. A grande dependência externa de fertilizante reduz o saldo positivo da balança comercial brasileira, bem como aumenta o risco na segurança alimentar do país, já que o alcance de altas produtividades depende diretamente da disponibilidade de fertilizantes. Outro fator limitante na cadeia produtividade brasileira são os custos elevados associados ao beneficiamento e ao transporte a longas distâncias. Estes problemas têm exigido a busca por alternativas, destacando-se a utilização de resíduos da atividade de mineração compostos por pós de rochas silicáticas (PRS) (NOROUZI e KHADEMI, 2010; PRATES et al., 2012; GUELFIL-SILVA et al., 2013).

Na maioria das regiões do país existem materiais que são subprodutos das atividades de mineração, amplamente conhecidos como PRS. Atualmente esses subprodutos são considerados um passivo ambiental se não forem utilizados. Porém, determinados materiais podem apresentar teores de nutrientes relativamente elevados e com potencial para uso na agricultura como fonte no manejo nutricional. A remineralização de solos, uma das formas

de rochagem, é uma prática agrícola que consiste na aplicação desses PRS visando a melhoria nos atributos edáficos do solo e nos ganhos de produtividade. Dentre seus principais aspectos positivos podem ser citados: o baixo custo; o fornecimento de vários nutrientes essenciais às plantas, além de elementos benéficos como o silício; a liberação lenta e gradual dos nutrientes por períodos de médio a longo prazo, diminuindo as perdas desses nutrientes pela lixiviação; melhoria da qualidade química, físico-química e biológica do solo (KNAPIK e ANGELO, 2007; BLEKEN et al., 2008; NOROUZI e KHADEMI, 2010; PRATES et al., 2012; GUELFÍ-SILVA et al., 2013).

O uso de PRS como fonte de nutrientes ou condicionadores no manejo do solo é uma prática antiga, mas deixado de lado em função da maior eficiência dos fertilizantes solúveis. Os PRS mais eficientes na agricultura foram regulamentados como remineralizadores de solos pela Lei 12.890/2013 (BRASIL, 2013) e as Instruções Normativas 5 e 6 de 2016 pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2016a, 2016b). O primeiro produto registrado no MAPA como remineralizador de solos foi os finos de micaxisto da Pedreira Araguaia (registro GO – 09338 1001-0). Além disso, no Brasil, a revalorização recente desta prática está ligada a três motivações principais: busca por alternativas para fertilizantes importados; necessidade de aproveitamento de grandes quantidades de rejeitos de pedreiras e mineradoras e; aumento da utilização da agricultura de bases agroecológicas, com restrições ao uso de fertilizantes solúveis e estímulos à utilização de recursos localmente disponíveis (FYFE et al., 2006; SILVEROL e MACHADO-FILHO, 2007; BLEKEN et al., 2008; GUARÇONI e FANTON, 2011; GUELFÍ-SILVA et al., 2013).

Os resultados obtidos até o momento indicam que muitos coprodutos da mineração possuem eficiência agrônômica satisfatória e vantagens ambientais quando comparados aos fertilizantes concentrados solúveis (BLEKEN et al., 2008; FERNANDES et al., 2010; BAMBERG et al., 2011). Dentre esses produtos, destaca-se o micaxisto.

O uso de pó de micaxisto pode ser uma estratégia eficaz para o manejo de K no solo devido às propriedades desse material. O micaxisto é uma rocha metamórfica rica em minerais como mica, quartzo e feldspato, que contêm K em sua composição. O micaxisto, ao se decompor no solo, libera gradualmente íons de K, proporcionando um suprimento constante desse nutriente às plantas ao longo do tempo. Além do K, o micaxisto pode conter outros elementos essenciais e benéficos para as plantas. Sua decomposição contribui para a disponibilização de uma gama de nutrientes, enriquecendo o solo. O uso de micaxisto pode contribuir para a estabilidade do pH do solo, evitando variações excessivas que possam prejudicar o crescimento das plantas (RESENDE et al., 2006; MANNING, 2010; GUELFÍ-SILVA et al., 2012; GUELFÍ-SILVA et al., 2014).

A incorporação de pó de micaxisto no manejo do solo pode reduzir a necessidade de aplicação de fertilizantes solúveis, promovendo uma abordagem mais sustentável e econômica. É fundamental, no entanto, considerar a qualidade do micaxisto, avaliando sua composição para garantir a ausência de elementos tóxicos. Além disso, a quantidade

adequada a ser aplicada deve ser determinada com base nas necessidades específicas do solo e das culturas cultivadas. O uso responsável e bem gerenciado do pó de micaxisto pode contribuir significativamente para a eficiência do manejo de potássio e para a promoção da saúde do solo em práticas agrícolas sustentáveis. Testes de resíduos de mineração de micaxisto vem apresentando resultados interessantes em diferentes culturas agrícolas. Micaxisto são rochas metamórficas de origem sedimentar, formada essencialmente por quartzo e biotita, além de outras micas, podendo ter diferentes proporções de feldspatos (MANNING, 2010; GUELFÍ-SILVA et al., 2012; GUELFÍ-SILVA et al., 2014).

Guelfi-Silva et al. (2012) avaliando as alterações no solo causadas pela aplicação de micaxisto observaram que modificação na alteração dos atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, principalmente na maior disponibilidade de potássio. Trabalhos desenvolvidos com arroz demonstraram que altas doses de micaxisto promovem modificações na dinâmica nutricional da espécie, bem como aumentam o rendimento de grãos e eficiência no uso de potássio, observando seu potencial para ser utilizado como fertilizante alternativo em sistemas de cultivo de arroz (GUELFÍ-SILVA et al., 2014).

Guelfi-Silva et al. (2013) avaliando micaxisto, relataram que o aumento das doses dessa fonte promoveu melhorias na nutrição e aumento na produção de alface. Os mesmos autores relataram aumento da disponibilidade de vários nutrientes no solo, destacando-se o potássio. Resultados semelhantes foram obtidos com a cultura da soja, na qual foi observado maior desenvolvimento radicular com a aplicação de micaxisto, além de aumento na disponibilidade de K e na produção de sementes (RESENDE et al., 2006).

Bakken et al (2000) relataram que o micaxisto pode ser usado na substituição parcial da adubação potássica em pastagem. Os mesmos autores relataram o efeito residual desse material após o segundo ano agrícola, por meio do incremento da concentração de potássio na pastagem. Contudo, destaca-se que o potássio ligado em K-feldspato na micaxisto tem uma menor disponibilidade, destacando o potencial de substituição parcial do material, não total em curto espaço de tempo, podendo aumentar conforme com o aumento do tempo de uso. Por outro lado, o K associado à biotita apresenta efeito agrônômico no curto prazo (MANNING, 2010; MOHAMMED et al., 2014; MORTLAND et al., 1956). Resultados semelhantes foram encontrados por Duarte et al. (2012), a partir do estudo de micaxisto descrito em Resende et al. (2006), onde foi demonstrada o aumento da matéria seca e do acúmulo de potássio no tecido vegetal em função da dose de micaxisto.

Prabhat et al. (2020) avaliando os resíduos de micaxisto com alternativa potencial para suplementação de K no manejo do solo, relataram que o uso de micaxisto combinado com substâncias húmicas aumentou teor de K solúvel de forma semelhante ao uso de fontes de K solúveis.

De uma forma geral, a liberação potássio por micaxisto de solos ocorre de forma gradual sendo influenciada pela mineralogia da rocha, dose aplicada e a ação biológica do solo. Manning (2010) descreveram o efeito benéfico do silicato presente na micaxisto no

desenvolvimento de microrganismos em solos com cultivo agrícola. Gleeson et al. (2005) mostram que o silicato estimula o desenvolvimento de comunidades fúngicas que utilizam em sua composição química o silício. Da mesma forma, Rosling et al. (2004) relataram o efeito benéfico de micaxisto no estabelecimento de diferentes espécies de fungos ectomicorrízicas, estimulando a absorção de potássio pela planta.

Theodoro et al. (2013) avaliaram o potencial de vários resíduos de rocha, entre eles a micaxisto, em cinco culturas agrícolas (milho, feijão, alho, cenoura e quiabo) em duas safras ao longo de dois anos. De modo geral, o tipo de rocha que apresentou o melhor desempenho foi a micaxisto carbonático, mas em todas as situações a aplicação de PRS possibilitou incremento na produtividade. Os parâmetros de fertilidade (pH, CTC e C orgânico total), bem como o teor de K, também foram positivamente alterados com o uso de micaxisto. Esses indicadores mostram que o uso PRS na produção de alimentos em solos tropicais pode contribuir com a erradicação da pobreza e soberania alimentar do Brasil, além de assegurar a produção de alimentos sem o uso de fertilizantes químicos.

Hurtado et al. (2012) destacaram que é a dependência externa do país por fertilizantes abrem espaço à procura por novas fontes locais, dentre elas, os materiais rochosos contendo nutrientes na sua composição, desta maneira, eles avaliaram o potencial agrônomo de fornecimento de K por micaxisto para o cultivo de milho, em comparação à fonte solúvel cloreto de potássio, num solo típico da região do Cerrado. A aplicação de micaxisto resultou em ganho de crescimento do milho, porém destaca-se que o uso agrícola dessa rocha deve se dar de forma complementar, não em substituição à adubação com fontes convencionais de potássio. Coelho et al. (2009) também avaliando doses de micaxisto na adubação de potássio no cultivo de milho em um solo típico da região de Mata Atlântica, relataram o aumento da produtividade de grãos, destacando que o micaxisto demonstrou em taxas equivalentes, é quase tão eficaz quanto doses solúveis de KCl. Assim, fica claro que a eficiência da micaxisto é também relacionada com o tipo de solo utilizado para o cultivo.

Batista et al. (2013) avaliando micaxisto na cultura de cana-de-açúcar, relataram que a aplicação do PRS possibilitou um prolongamento do período vegetativo e enchimento de colmos, em função do atraso no florescimento em duas semanas, contribuindo com a produtividade e qualidade industrial da cana-de-açúcar. Pois, os danos consequentes do florescimento são ocasionados pelo consumo do açúcar pela respiração, utilizando o açúcar para a formação das panículas ao invés de armazenar na forma de sacarose nos colmos. Em couve-flor, a utilização de micaxisto como fonte alternativa de nutrientes para o cultivo da couve folha se torna viável quando associado à outra fonte de nutrientes, pois ele necessita de um maior período de tempo para a solubilização e mineralização dos nutrientes (MENEZES, 2016). Desta maneira, fica claro o uso crescente da micaxisto na agricultura e seu efeito benéfico em diferentes espécies.

A dependência externa de fertilizante para obtenção de altas produtividades na

agricultura brasileira exige a busca de fontes mais baratas, como o PRS micaxisto. Para isso é de extrema importância a utilização e popularização da micaxisto em condições de cultivo brasileiro, desde que o material não apresente elementos tóxicos às plantas, bem como tiver minerais reativos que otimize o manejo nutricional de plantas. Além disso, destaca-se a necessidade de uma política de aceite da comercialização desse tipo de material, ampliando e consolidando o uso do material. Desta maneira, com base no exposto, fica evidente que o material secundário, resultado do processo de produção de brita para a construção civil, na definido como PRS micaxisto, pode sim ser utilizado na agricultura como uma fonte fornecedora de nutrientes para as plantas e impactando positivamente na melhoria das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, constituindo em um material barato e eficaz para uso regional na agricultura.

REFERÊNCIAS

- BAKKEN, A.K.; GAUTNEB, H.; SVEISTRUP, T.; MYHR, K. Crushed rocks and mine tailings applied as K fertilizers on grassland. *Nutrient Cycle Agroecosystem*. 56:53-57, 2000.
- BAMBERG, A.L. *et al.* Dinâmica de liberação de nutrientes disponibilizados por rochas moídas em colunas de lixiviação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33, 2011, Uberlândia. Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas: anais. [Uberlândia]:
- BATISTA, N.T.F. *et al.* Uso de Pó de Rocha como Condicionador de Solos e fertilizante em Cultura de Cana-de-Açúcar. In: Suzi Huff Theodoro; Eder de Souza Martins; Marcus Manoel Fernandes; André Mundstok Xavier de Carvalho. (Org.). *Anais II Congresso de Rochagem*. 1ed. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2013, v. 1, p. 58-62.
- BLEKEN, M.A., KROGSTAD, T., SPEETJENS, K., HELM, M. Use of a mixture of biotite- and apatite-rich rock powder in a soil with inherent low soil fertility. In D. Neuhoff, N. Halberg, T. Alföldi, W. Lockeretz, A. Thommen, I. A. Rasmussen, H. Willer (Eds.), *Cultivating the Future Based on Science*, v. 1 - Organic Crop Production (ISOFAR, Mo, pp. 90–93). International Society of Organic Agriculture Research, 2008.
- BRASIL. Lei no. 12.890 - Altera a Lei n. 6.894 para incluir os remineralizadores como uma categoria de insumo destinado à agricultura. Brasília, DF: Diário Oficial da União - Palácio do Planalto, 2013. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2013/Lei/L12890.htm
- BRASIL. Instrução Normativa 5 - Regras dos remineralizadores e substratos de plantas. Brasília, DF: Diário Oficial da União - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2016a. <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=317444>
- BRASIL. Instrução Normativa 6 - Critérios para registro e cadastro de fornecedores. Brasília, DF: Diário Oficial da União - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2016b. <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=317445>
- COELHO, A.M.; MARRIEL, I.E.; ROCHA, D.M. Relative efficiency of different sources of potassium in the fertilization of crop system pear millet and soybean. In: 18th International Symposium of CIEC (pp. 49–54), 2009.
- DUARTE, I.N.; SOUSA, R.X.; KORNDORFER, G.H.; FONTOURA, P.R.; SOARES, R.A. Biotita: Fonte de potássio para agricultura. *Bioscience Journal*, 28(1):98-103, 2012.

FERNANDES, F.R.C.; LUZ, A.B.; CASTILHOS, Z.C. (Ed.). Agrominerais para o Brasil. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral, 2010. 380 p.

FYFE, W.S.; LEONARDOS, O.H.; THEODORO, S.H. The use of rocks to improve family agriculture in Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 78(4): 721-730, 2006.

GLEESON, D.B. et al. Characterization of fungal community structure on a weathered pegmatitic granite, *Microbial Ecology*. 50, 360–368, 2005.

GUARÇONI, A.; FANTON, C.J. Resíduo de beneficiamento do granito como fertilizante alternativo na cultura do café. *Ciência Agronômica*, 42: 16-26, 2011

GUELFÍ-SILVA, D.R. *et al.* Agronomic efficiency of potassium fertilization in lettuce fertilized with alternative nutrient sources. *Revista Ciência Agronômica*, 44(2), 267-277, 2013.

GUELFÍ-SILVA, D.R. *et al.* Characterization and nutrient release from silicate rocks and influence on chemical changes in soil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36(3), 951-962, 2012.

GUELFÍ-SILVA, D.R. *et al.* Yield, nutrient uptake and potassium use efficiency in rice fertilized with crushed rocks. *African Journal of Agricultural Research*, 9, 455-464, 2014.

HURTADO, S.M.C. et al. Avaliação de uma Rocha Silicática como Fonte de Potássio. In *FertiBio* (pp. 1–4). Maceió-AL: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012.

KNAPIK, J.G.; ANGELO, A.C. Pó de basalto e esterco equino na produção de mudas de *Prunus sellowii* Koehne (ROSACEAE). *Floresta*, 37: 427-436, 2007.

MANNING, D.A.C. Mineral sources of potassium for plant nutrition: A review. *Agron. Sustainable Develop.*, 30:81-294, 2010.

MENEZES, E.J.R. Eficiência da utilização de pó de Mica Xisto e esterco na produção de couve folha. 2016. 29p. Trabalho de conclusão de curso (Curso de Bacharelado em Agronomia). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – Campus Morrinhos, Morrinhos-GO, 2016.

MOHAMMED, S.M.O. *et al.* Comparison of silicate minerals as sources of potassium for plant nutrition in sandy soil. *European Journal of Soil Science*, 65:653-662, 2014.

MORTLAND, M.M.; LAWTON, K.; UEHARA, G. Alteration of biotite to vermiculite by plant growth. *Soil Science*, 82(6):477-482, 1956.

NOROUZI, S.; KHADEMI, H. Ability of alfalfa (*Medicago sativa* L.) to take up potassium from different micaceous minerals and consequent vermiculitization. *Plant and Soil*, 328(1–2):83–93, 2010.

PRABHAT PRAMANIK, CHAYANIKA KALITA, PALLABI KALITA & ANUP JYOTI GOSWAMI. 2020. Earthworm Assisted Remediation of Effluents and Wastes. *Earthworm Assisted Remediation of Effluents and Wastes* 209-225.

PRATES, F.B.S. *et al.* Crescimento de mudas de pinhão-mansão em resposta a adubação com superfosfato simples e pó-de-rocha. *Revista Ciência Agronômica*, 43: 207-213, 2012.

RESENDE, A.V. *et al.* Suprimento de potássio e pesquisa de uso de rochas “in natura” na agricultura brasileira. *Espaço & Geografia*, 9: 17-40, 2006.

ROSLING, A.; LINDAHL, B.D.; TAYLOR, A.F.S.; FINLAY, R.D. Mycelial growth and substrate acidification of ectomycorrhizal fungi in response to different minerals, *FEMS Microbial Ecology*. 47, 31–37, 2004.

SILVEROL, A.C.; MACHADO FILHO, L. Utilização de pó de granito e manto de alteração de piroxenito para fertilização de solos. *Revista Brasileira de Agroecologia*, 2: 703-707, 2007.

THEODORO, S.H. *et al.* Efeito do uso da técnica de rochagem e adubação orgânica em solos tropicais. In: II Congresso Brasileiro de Rochagem, 2013, Poços de Caldas. *Anais do II Congresso Brasileiro de Rochagem*. Visconde do Rio Branco/MG: SUPREMA, 2013. v. 1. p. 322-42.

TAXA DE EMERGÊNCIA E CRESCIMENTO DE VARIEDADES DE ABÓBORA EM SUBSTRATOS NO NORDESTE PARAENSE

Data de submissão: 18/12/2023

Data de aceite: 22/12/2023

José Darlon Nascimento Alves

Secretária do Estado de Meio Ambiente e
Sustentabilidade
Belém – Pará
<http://lattes.cnpq.br/2792546714935668>

Mayse Ferreira Sales

Universidade Federal Rural da Amazônia
Capitão Poço – Pará
<http://lattes.cnpq.br/4409101637620687>

Paulo Arthur Silva Pardim

Universidade Federal Rural da Amazônia
Capitão Poço – Pará
<http://lattes.cnpq.br/2359095778014653>

Gabriel Rodrigues do Nascimento

Universidade Federal Rural da Amazônia
Capitão Poço – Pará
<http://lattes.cnpq.br/0395088693565124>

Francisco Elvies Duarte de Souza

Universidade Federal Rural da Amazônia
Capitão Poço – Pará
<http://lattes.cnpq.br/2380785916325115>

Bruno dos Santos da Silva

Universidade Federal Rural da Amazônia
Capitão Poço – Pará
<http://lattes.cnpq.br/1168646357999170>

Carlos Valmison da Silva Araújo

Universidade Federal de Viçosa
Viçosa – Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/5738250310441081>

Daíslen dos Reis Soares

Universidade Federal Rural da Amazônia
Capitão Poço – Pará
<http://lattes.cnpq.br/2151827583459516>

Michel Sauma Filho

Universidade Federal Rural da Amazônia
Capitão Poço - Pará
<http://lattes.cnpq.br/0083029112961996>

Heráclito Eugênio Oliveira da Conceição

Universidade Federal Rural da Amazônia
Capitão Poço - Pará
<http://lattes.cnpq.br/9395320849285405>

RESUMO: Apesar da importância dos substratos, existem poucos estudos sobre a proporção ideal de solo e esterco bovino para a emergência e crescimento inicial da cultura da abóbora. Assim, objetivou-se avaliar a taxa de emergência e crescimento inicial de variedades de abóbora em diferentes substratos no Nordeste Paraense. O experimento foi realizado em casa de vegetação aberta na

Universidade Federal Rural da Amazônia, *campus* Capitão Poço, entre abril e maio de 2023. O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 2 x 4, sendo duas variedades (Jacarezinho e Sergipana) e 4 substratos, com 3 repetições. Os substratos foram areia lavada, solo local, 75% solo local + 25% de esterco bovino curtido e 50% solo local + 50% esterco bovino curtido. Aos quatro e dez dias após a semeadura foram avaliadas a taxa de emergência de abóbora. Também foi avaliado o índice de velocidade de emergência total. Aos 15 dias após a semeadura foram avaliadas a altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC) e o comprimento de caule (CC). Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($p < 0,05$) e quando significativos foi aplicado o teste de Tukey ($p < 0,05$), por meio do uso do Software AgroEstat. Houve maior emergência de abóbora da variedade Jacarezinho no substrato areia aos 4 dias após a semeadura. Por outro lado, não houve diferença na emergência entre os substratos para a variedade sergipana. Não houve diferença significativa para o índice de velocidade de emergência total para as variedades nos diferentes substratos. As maiores respostas para as variáveis AP, DC e CC foram no substrato 75% solo + 25% de esterco bovino, o que indica a importância do adubo orgânico para o crescimento inicial da abóbora. Assim, o substrato 75% solo + 25% de esterco bovino possibilitou maior crescimento inicial das variedades.

PALAVRAS-CHAVE: Agricultura familiar; *Cucurbita Moschata*; Olericultura.

EMERGENCY RATE AND GROWTH OF PUMPKIN VARIETIES ON SUBSTRATES IN THE NORTHEAST OF PARÁ

ABSTRACT: Despite the importance of substrates, there are few studies on the ideal proportion of soil and cattle manure for the emergence and initial growth of pumpkin crops. Thus, the objective was to evaluate the emergence rate and initial growth of pumpkin varieties in different substrates in the Northeast of Pará. The experiment was carried out in an open greenhouse at the Universidade Federal Rural da Amazônia, Capitão Poço campus, between April and May 2023. The experimental design adopted was completely randomized in a 2 x 4 factorial scheme, with two varieties (Jacarezinho and Sergipana) and 4 substrates, with 3 repetitions. The substrates were washed sand, local soil, 75% local soil + 25% tanned cattle manure and 50% local soil + 50% tanned cattle manure. Four and ten days after sowing, the pumpkin emergence rate was evaluated. The total emergency speed index was also evaluated. At 15 days after sowing, plant height (AP), stem diameter (DC) and stem length (CC) were evaluated. The data were subjected to analysis of variance using the F test ($p < 0.05$) and when significant, the Tukey test ($p < 0.05$) was applied, using the AgroEstat Software. There was greater emergence of pumpkin of the Jacarezinho variety in the sand substrate 4 days after sowing. On the other hand, there was no difference in emergence between substrates for the Sergipana variety. There was no significant difference in the total emergence speed index for the varieties on the different substrates. The highest responses for the AP, DC and CC variables were in the substrate 75% soil + 25% cattle manure, which indicates the importance of organic fertilizer for the initial growth of the pumpkin. Thus, the substrate 75% soil + 25% cattle manure enabled greater initial growth of the varieties.

KEYWORDS: Family Farming; *Cucurbita Moschata*; Olericulture.

INTRODUÇÃO

A Abóbora (*Cucurbita Moschata*) é uma espécie originária do México, amplamente cultivada em países tropicais da América. É uma planta herbácea, de caule robusto e longo, atingindo cerca de 10 m, emite caule rasteiro e folhas grandes (mais de 25 cm), de contorno codiforme mais ou menos ovoide e com três a cinco lóbulos, distribuídas no limbo (CELESTINO et al., 2023). Essa espécie é rica em propriedades antioxidantes, vitaminas, minerais, fibras, carotenoides e água (FRANCO et al., 2019; GOMES et al., 2022).

De acordo com o Censo Agropecuário de 2017, os maiores produtores de abóbora são Minas Gerais, Bahia, Rio Grande do Sul e Santa Catarina, que somam 55% da produção brasileira. O Estado de Minas Gerais lidera com 20% da produção (83,6 mil toneladas). Por outro lado, o Pará é responsável por apenas 8.253 toneladas (IBGE, 2017).

Um dos aspectos importantes que pode beneficiar a germinação e a produção de mudas de espécies olerícolas é a utilização de substratos com resíduos orgânicos que proporcionam benefícios nas características físicas, químicas e biológicas do solo. Os substratos ideais devem conter teores de nutrientes e matéria orgânica adequados, possuir porosidade e armazenamento de água satisfatórios e apresentar níveis de biota do solo suficientes para realizar a ciclagem de nutrientes (ALVES et al., 2020). Apesar da importância dos substratos, existem poucos estudos sobre a proporção ideal de solo e esterco bovino para a emergência e crescimento inicial da cultura da abóbora. Assim, objetivou-se avaliar a taxa de emergência e crescimento inicial de variedades de abóbora em diferentes substratos no Nordeste Paraense.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação aberta na Universidade Federal Rural da Amazônia, *campus* Capitão Poço, Capitão Poço - PA (1°44'39" S; 47°3'26" W, altitude 73 m), entre abril e maio de 2023. Segundo a classificação de Koppen, o clima da região é classificado, como do tipo Ami (altitude tropical) (PACHECO; BASTOS, 2001). O solo da região é classificado como Latossolo Amarelo (SANTOS et al., 2018). As características químicas dos substratos estão descritas na Tabela 1.

Substratos	pH	N	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Ca+Mg	Al ³⁺	H+Al	m	V
	(H ₂ O)	%	--	mg dm ⁻³	--	-----	cmol _c dm ⁻³ -----			----	%----
Solo local	4,4	0,1	9,8	19,9	0,9	0,6	1,5	0,2	2,3	11,4	40,3
75% SL + 25% EB	5,4	0,3	26,1	99,8	1,3	1,7	3,0	0,1	0,5	3,0	86,7
50% SL + 50% EB	5,7	0,4	26,1	159,7	1,3	1,7	3,0	0,1	0,5	1,5	87,2

Tabela 1. Análise química dos substratos.

Fonte: Laboratório Pró-Solos (2023).

As sementes de abóbora foram adquiridas no comercio local. Em seguida foi realizado o processo de embebição em água destilada, para superar a dormência, durante um período de 24 horas. Após essa etapa as sementes foram semeadas em recipientes do tipo bacia com volume de 5 L, em que cada bacia continha 20 sementes e 10 dias após a emergência foram desbastadas, permanecendo 10 plântulas.

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 2 x 4, sendo duas variedades (Jacarezinho e Sergipana) e 4 substratos, com três repetições. Os substratos foram areia lavada, solo local, 75% solo local + 25% de esterco bovino curtido e 50% solo local + 50% esterco bovino curtido.

Aos quatro e dez dias após a semeadura foram avaliadas a taxa de emergência de abóbora. Aos 10 dias também foi avaliado o índice de velocidade de emergência total (MAGUIRE, 1962). Já aos 15 dias após a semeadura foram avaliadas a altura da planta (AP, cm), determinada a partir do solo até a porção apical da planta, com uso de uma régua milimetrada, o diâmetro do caule (DC, cm), medido com um paquímetro a 5 cm acima do solo e o comprimento de caule (CC), considerado desde a superfície até o meristema apical. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($p<0,05$) e quando significativos foi aplicado o teste de Tukey ($p<0,05$), por meio do uso do Software AgroEstat (BARBOSA; MALDONADO JUNIOR, 2015).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve maior emergência de abóbora da variedade Jacarezinho no substrato areia aos 4 dias após a semeadura. Por outro lado, não houve diferença na emergência entre os substratos para a variedade sergipana (Tabela 2). Além disso, comparando as variedades no substrato areia, verificou-se maior emergência da variedade Jacarezinho. A melhor resposta nesse substrato pode estar relacionada às características físicas da areia, pois apresenta alta macroporosidade, boa drenagem e aeração, fatores que melhoram a emergência. Porém, é um substrato com baixos teores de nutrientes, que compromete o crescimento e desenvolvimento das plântulas (ALVES et al., 2018).

Substratos	Jacarezinho	Sergipana
	-----%-----	
Areia lavada	68,3 Aa*	48,3 Ab
Solo local	38,3 Ba	46,7 Aa
75% Solo local + 25% de esterco bovino	38,3 Ba	53,3 Aa
50% Solo local + 50% de esterco bovino		33,3 Aa

* Médias seguidas de letras distintas diferem entre si na coluna (maiúsculas) e na linha (minúsculas) pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Tabela 2. Médias de taxa de emergência de variedades de abóbora em substratos, aos 4 dias após a semeadura.

Fonte: Autores, (2023).

As duas variedades de abóbora obtiveram resultados estatisticamente iguais para todos os substratos utilizados aos 10 dias após sua semeadura (Tabela 3). A emergência mínima para o período ficou acima de 70% (Tabela 3). Dessa forma, ambas as variedades apresentaram emergência satisfatória.

Substratos	Jacarezinho	Sergipana
	-----%-----	
Areia lavada	91,7 Aa [*]	73, 3 Aa
Solo local	83,3 Aa	86,7 Aa
75% Solo local + 25% de esterco bovino	90,0 Aa	71,7 Aa
50% Solo local + 50% de esterco bovino	76,7 Aa	81,7 Aa

^{*} Médias seguidas de letras distintas diferem entre si na coluna (maiúsculas) e na linha (minúsculas) pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Tabela 3. Médias de taxa de emergência de variedades de abóbora em substratos, aos 10 dias após a semeadura.

Fonte: Autores, (2023).

Não houve diferença significativa para o índice de velocidade de emergência total (IVE) para as variedades nos diferentes substratos, porém a numericamente a variedade Jacarezinho apresentou maior IVE (Tabela 4). A velocidade de emergência é um fator importante estabelecimento de mudas no campo, quanto maior o índice maior será o desempenho das mudas e, como resultado, uma maior capacidade de suportar tensões que pode prejudicar o crescimento e desenvolvimento das plantas (SOUZA et al., 2014).

Substratos	Jacarezinho	Sergipana
Areia lavada	18,8Aa [*]	14,4 Aa
Solo local	15,6 Aa	16,1 Aa
75% Solo local + 25% de esterco bovino	15,7 Aa	14,5 Aa
50% Solo local + 50% de esterco bovino	12,3 Aa	14,6 Aa

^{*} Médias seguidas de letras distintas diferem entre si na coluna (maiúsculas) e na linha (minúsculas) pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Tabela 4. Médias de índice de velocidade de emergência total de variedades de abóbora em substratos, aos 10 dias após a semeadura.

Fonte: Autores, (2023).

Não se observaram diferenças significativas entre as variedades Jacarezinho e Sergipana nas variáveis AP, CC e DC analisadas, o que indica que essas variedades possuem taxa de crescimento semelhante (Tabela 5).

Variedades	AP	CC	DC
Jacarezinho	12,84 a	7,39 a	0,31 a
Sergipana	13,97 a	7,06 a	0,34 a

Tabela 5. Altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC) e comprimento do caule (CC) de variedades de abóbora.

Fonte: Autores, (2023).

As maiores respostas para as variáveis de crescimento foram no substrato 75% solo + 25% de esterco bovino (Tabela 6), o que indica a importância do adubo orgânico para o crescimento inicial da abóbora.

O esterco bovino é rico em matéria orgânica e nutrientes essenciais, que são vitais para o crescimento das plantas (MANTOVANI et al., 2017). Além disso, esse resíduo orgânico promove o aumento da retenção e disponibilidade de água no solo, pois a matéria orgânica atua como um agente agregador, aumentando a porosidade (PRIMAVESI, 2021). A porosidade do solo também facilita a penetração de raízes, o que é essencial para o crescimento das plantas (VAN LIER, 2010). No aspecto biológico, a matéria orgânica promove o desenvolvimento da biota do substrato contribui para a saúde do solo, ajudando na decomposição da matéria orgânica e na ciclagem de nutrientes (SALOMÃO et al., 2020).

Substratos	AP	CC	DC
Areia lavada	8,45 d	5,65 c	0,25 c
Solo local	11,26 c	7,10 b	0,30 bc
75% solo + 25% de esterco bovino	18,72 a	8,50 a	0,40 a
50% solo local + 50% esterco bovino	15,19 b	7,66 ab	0,35 ab

Tabela 6: Altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC) e comprimento do caule (CC) de plantas jovens de abóbora em substratos.

Fonte: Autores, (2023).

Por outro lado, o substrato areia apresentou as menores respostas, em virtude de ser um material inerte, com pouca disponibilidade de nutrientes, não atende a necessidade nutricional das plantas, reduzindo seu crescimento (AMORIM et al., 2021). O solo local também apresentou respostas inferiores, em virtude do baixo pH, baixa CTC e menores disponibilidades de nutrientes, conforme constatado na Tabela 1, isso porque, os solos amazônicos são altamente intemperizados (MANTOVANELLI et al., 2016), devido a fatores climáticos e biológicos.

CONCLUSÃO

De forma geral, o substrato 75% solo + 25% de esterco bovino possibilitou maior

crescimento inicial das variedades no Nordeste Paraense.

REFERÊNCIAS

- ALVES, J. C., PÔRTO, M. L. A., SILVA, A. O., NASCIMENTO, M. S., SILVA NETO, J. F., OLIVEIRA, A. F. S. Níveis de esterco bovino em substratos para produção de mudas de abóbora. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 3, n. 2, p. 685-694, 2020.
- ALVES, J. D. N., MOREIRA, W. K. O., BEZERRA, L. A., OLIVEIRA, S. S., FRANCO, T. M., OKUMURA, R. S., SILVA, R. T. L., OLIVEIRA, I. A., LEÃO, F. A. N. Substrates and irrigation frequencies in the development of seedlings of *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 11, p. 249-258, 2018. <https://doi.org/10.5539/jas.v10n11p249>
- AMORIM, E. L., SILVA, F.; CASTRO NETO, M. T., ALVES, L. S., OLIVEIRA, M. E. F., PACHECO, J. L. F. Avaliação de diferentes substratos orgânicos na produção de biomassa da hortelã (*mentha piperita* L.): Evaluation of different organic substrates in the biomass production of mint (*mentha piperita* L.). **Latin American Journal of Development**, v. 3, n. 5, p. 3313-3319, 2021.
- BARBOSA, J. C., MALDONADO JUNIOR, W. **AgroEstat**: sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos. Jaboticabal, FCAV/UNESP. 2015. 396p.
- CELESTINO, J. J. H., ALMEIDA, S. L., UCHÔA, K. R., FERREIRA, A. S.; PINTO, O. R. O. Um estudo sobre a espécie *cucurbita moschata* Duch: características botânicas, químicas e atividades biológicas. **International Journal of Development Research**, v. 13, n. 01, p. 61338-61341, 2023.
- FRANCO, T. M., OLIVEIRA JUNIOR, M. V. R., ALVES, J. D. N., MOREIRA, W. K. O., SOUZA, J. L., LIMA, M. J. A., GALVÃO, E. C., CONCEIÇÃO, H. E. O. Development of pumpkin young plants receiving dosages of phosphorus from different sources. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 32, n. 4, p. 1-8, 2019.
- GOMES, E. S., MARINS, A. R., GOMES, R. G. Avaliação das características químicas e físicas da farinha da abóbora moranga (*Cucurbita maxima*): polpa e sementes. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 9, p. e36211931811-e36211931811, 2022.
- IBGE. **Censo Agropecuário 2017 – Resultados definitivos**. 2017. Disponível em: https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/index.html. Acesso em 16 de outubro de 2023.
- MAGUIRE, J. D. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v. 2, n. 2, p.176-77, 1962.
- MANTOVANELLI, B. C., CAMPOS, M. C. C., ALHO, L. C., FRANCISCON, U., NASCIMENTO, M. F., SANTOS, L. A. C. Distribuição espacial dos componentes da acidez do solo em área de campo natural na região de Humaitá, Amazonas. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v. 14, n.1. p. 1-9, 2016. <https://doi.org/10.5327/rcaa.v14i1.817>
- MANTOVANI, J. R., CARRERA, M., MOREIRA, J. L. A., MARQUES, D. J., SILVA, A. B. Fertility properties and leafy vegetable production in soils fertilized with cattle manure. **Revista Caatinga**, v. 30, p. 825-836, 2017.
- PACHECO, N. A., BASTOS, T. X. **Caracterização climática do município de Capitão Poço-PA**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental. 2001, 17p.

PRIMAVESI, A. M. **Manejo ecológico do solo**: A agricultura em regiões tropicais. 1. ed. Cotia: Nobel, 2021. 544p.

SALOMÃO, P. E. A., SANTOS, J. C., RODRIGUES, M. F., RODRIGUES, J. P. B. Metodologia de implantação da bananeira prata anã com adubação orgânica. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 2, p. e114922155-e114922155, 2020.

SANTOS, H. G., JACOMINE P. K. T., ANJOS, L. H. C., OLIVEIRA, V. A., LUMBRERAS, J. F., COELHO, M. R., ALMEIDA, J. A., ARAÚJO FILHO, J. C., OLIVEIRA, J. B., CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5 ed. Brasília, Embrapa. 2018. 356p.

SOUZA, E. G. F., SOUSA SANTANA, F. M., MARTINS, B. N. M., PEREIRA, D. L., BARROS JÚNIOR, A. P., SILVEIRA, L. M. Produção de mudas de cucurbitáceas utilizando esterco ovino na composição de substratos orgânicos. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 8, n. 2, p. 175-183, 2014.

VAN LIER, Q. J. **Física do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. 298p.

LEONARDO FRANÇA DA SILVA - Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal De Minas. Mestre em Agronomia pela Universidade Estadual Paulista -UNESP. Atualmente, é pesquisador de Doutorado em Engenharia Agrícola (Construções Rurais e Ambiência) pela Universidade Federal de Viçosa e membro colaborador do Núcleo de Pesquisa em Ambiência e Engenharia de Sistemas Agroindustriais - AMBIAGRO- UFV. Além de ser aluno de pós graduação lato sensu em Engenharia de Segurança do Trabalho, Engenharia de Produção. Possui experiência nas áreas de Engenharia agrícola, com ênfase em Engenharia de Construções Rurais, Desenvolvimento rural, Sustentabilidade em sistemas de produção (Agrícola / Animal), Segurança do trabalho e Ergonomia.

VICTOR CRESPO DE OLIVEIRA - Engenheiro Agrícola pela Universidade Federal de Lavras, especialista em Análise de Dados, mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa. Atualmente é pesquisador de doutorado em Engenharia Agrícola na Universidade Estadual Paulista (UNESP), atuando na integração de novas tecnologias da informação no campo. Possui experiência internacional no desenvolvimento de projetos científicos e atua diretamente no desenvolvimento de pesquisas na área de Construções Rurais e Ambiência e Uso de Inteligência Artificial na Agricultura.

A

Absorção de água 32, 33, 34, 37, 38

Adubação fosfatada 94

Agricultura 5.0 9, 11, 14, 20

Agricultura familiar 110

Agricultura orgânica 57, 86, 94

Animais de produção 1, 2, 3, 4, 5

B

Biologia molecular 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8

C

Contaminação 69, 70, 73, 74, 76, 77, 79, 80, 82

Controle Inteligente 11

Cucurbita Moschata 110, 111

Curva de progresso 43, 49, 51, 52, 54

D

Defensivos agrícola 69

Diatraea spp. 57, 58, 61, 62

F

Fluído percolante 69

Fontes alternativas 86, 93, 94, 96, 102

G

Germinação 32, 33, 34, 35, 37, 39, 40, 41, 79, 111

L

Lagartas desfolhadoras 57, 63, 66

Lógica Fuzzy 11

M

Morfometria de sementes 32, 33, 35

O

Olericultura 110

P

Parasitoides 57, 58, 59, 60, 62, 63, 64, 66, 67

Plântulas 32, 33, 34, 35, 41, 79, 112

Plutella xylostella 57, 58, 61, 62, 66, 67

População 23, 42, 43, 45, 46, 57, 58

Potássio 102

Produtividade 2, 5, 6, 11, 42, 43, 44, 58, 62, 69, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 95, 96, 98, 101, 102, 103, 105

R

Remineralizador 92, 102, 103

Robótica autônoma 11, 14

Rochas ígneas 86, 93, 94, 96

S

Severidade 42, 43, 44, 49, 50, 51, 52, 53, 56

Sustentável 15, 41, 57, 64, 68, 86, 96, 103

T

Terapia gênica 2, 3, 6

V

Vacinas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8

CULTIVANDO O FUTURO

**TENDÊNCIAS E DESAFIOS
NAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS 2**



www.atenaeditora.com.br



contato@atenaeditora.com.br



[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)



www.facebook.com/atenaeditora.com.br

CULTIVANDO O FUTURO

**TENDÊNCIAS E DESAFIOS
NAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS 2**



www.atenaeditora.com.br



contato@atenaeditora.com.br



[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)



www.facebook.com/atenaeditora.com.br