

O FUTURO DAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS

INOVAÇÕES E
DESAFIOS



Raissa Rachel Salustriano da Silva-Matos
Janaiane Ferreira dos Santos
Geovanna Kelly Pereira Silva
(Organizadores)

Atena
Editora
Ano 2024

O FUTURO DAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS

INOVAÇÕES E
DESAFIOS



Raissa Rachel Salustriano da Silva-Matos
Janaiane Ferreira dos Santos
Geovanna Kelly Pereira Silva
(Organizadores)

Atena
Editora
Ano 2024

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

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

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano

Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras

Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Profª Drª Ariadna Faria Vieira – Universidade Estadual do Piauí

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

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
Profª Drª Jessica Mansur Siqueira Crusoé – Universidade Federal de Viçosa
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

O futuro das ciências agrárias: inovações e desafios

Diagramação: Ellen Andressa Kubisty

Correção: Maiara Ferreira

Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga

Revisão: Os autores

Organizadoras: Raissa Rachel Salustriano da Silva-Matos
Janaiane Ferreira dos Santos
Geovanna Kelly Pereira Silva

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

B748 O futuro das ciências agrárias: inovações e desafios /
Organizadoras Raissa Rachel Salustriano da Silva-
Matos, Janaiane Ferreira dos Santos, Geovanna Kelly
Pereira Silva. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2024.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-2727-8

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.278241208>

1. Ciências agrárias. 2. Tecnologia. I. Matos, Raissa
Rachel Salustriano da Silva (Organizadora). II. Santos,
Janaiane Ferreira dos (Organizadora). III. Silva, Geovanna
Kelly Pereira (Organizadora). IV. 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.

Ao longo do tempo, a agricultura tem enfrentado inúmeros desafios, como a necessidade de alimentar uma população crescente com qualidade, segurança e sustentabilidade. Além disso, o caminho para a expansão da produção agrícola revela sinais de preocupação. Nos próximos anos, será crucial melhorar a eficácia na utilização da água, do solo e da biodiversidade, a fim de manter a produtividade, restaurar os recursos naturais e reduzir os efeitos das mudanças climáticas.

Dessa forma, as inovações tecnológicas nas ciências agrárias tornam-se um componente fundamental para aprimorar a alimentação, promover o desenvolvimento sustentável e melhorar a nutrição global. Apesar dos desafios, é por meio da pesquisa que é possível alcançar esses avanços tecnológicos na agricultura.

A obra “O futuro das ciências agrárias: inovações e desafios” apresenta pesquisas inovadoras e, em seus 11 capítulos, aborda estudos que visam contribuir para o desenvolvimento das Ciências Agrárias. São discutidos diversos tópicos, incluindo fruticultura, fisiologia vegetal e produção de biocombustíveis, entre outros.

Os organizadores expressam sua gratidão aos autores pelo auxílio, prontidão e comprometimento na criação deste livro. Esperam que ele sirva como uma valiosa referência de estudo e aprendizado para alunos, educadores e demais interessados no assunto. A todos os leitores, desejamos uma ótima leitura.

Raissa Rachel Salustriano da Silva-Matos
Janaiane Ferreira dos Santos
Geovanna Kelly Pereira Silva

CAPÍTULO 1 1**ÁCIDO GIBERÉLICO NA OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO FRUTÍFERA**

Francisco José Domingues Neto

Marco Antonio Tecchio

João Domingos Rodrigues

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2782412081>**CAPÍTULO 2 11****ALTERAÇÕES MORFO-FISIOLÓGICAS DO CAFEIEIRO CULTIVADO EM SISTEMA ARBORIZADO COM CEDRO AUSTRALIANO**


Carmem Lacerda Lemos Brito

Sylvana Naomi Matsumoto

Héberton Lima Fagundes

Aline Novais Santos Gonçalves

Milena Lima Fernandes Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2782412082>**CAPÍTULO 3 17****ÁCIDO ABCSÍCICO NA COLORAÇÃO DE UVAS**


Francisco José Domingues Neto

Daniele Maria do Nascimento

Marcos Roberto Ribeiro-Junior

Pedro Henrique Ribeiro


Marco Antonio Tecchio

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2782412083>**CAPÍTULO 4 31****AVALIAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO VOLUMÉTRICA DE GOTAS COM DIFERENTE TIPOS PONTAS DE PULVERIZAÇÃO EM AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS**

Klayson Burjack Nunes

Danilo Ribeiro Barbacena

Joana Darque Vieira da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2782412084>**CAPÍTULO 5 51****POLIMORFISMO MOLECULAR EM AVEIAS FORRAGEIRAS POR MEIO DE MARCADORES MICROSSATÉLITES**

Sandra Patussi Brammer


Bianca Oliveira Machado

Luiza Elodi Greiner Brum

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2782412085>**CAPÍTULO 6 64****ANÁLISE DO DESEMPENHO DO GIRASSOL DE ACORDO COM A ÉPOCA DE SEMEADURA**

Emanuelly Alencar da Silva Souza

Leonardo Vieira de Sousa
 Pablo Henrique Albernaz Salomão
 Thiago José Feliciano Silva
 Lídia Mara Padilha de Moraes Prado
 Anderson Luís da Silva Nascimento
 Guilherme Dos Santos Costa
 Eduardo Brito Taveira
 Victor Arlindo de Matos
 Affonso Amaral Dalla Libera
 Alexandre Caetano Perozini
 Charles de Araújo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2782412086>

CAPÍTULO 770

ESTRATÉGIAS INTEGRADAS PARA O CONTROLE DO HLB NA CITRICULTURA BRASILEIRA


Sydney Pereira Galvão
 Raudielle Ferreira dos Santos
 Rachel Martins da Rocha Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2782412087>

CAPÍTULO 877

MONITORAMENTO DO CARBONO NO SOLO EM ÁREA DE REFLORESTAMENTO COM ESPÉCIES NATIVAS DE MATA ATLÂNTICA, EM SEROPÉDICA (RJ)

Andreia Laurindo de Almeida Gomes
 Caroline Souza da Fonseca
 Castro Alves da Silva Junior
 Fernando José Pereira Ferreira
 João Felipe da Silva Gonçalves
 Lucas Santos Honda
 Maria Eduarda Pimentel de Melo
 Matheus Henrique dos Reis Fonseca
 Matheus Leal Soares das Neves
 Thamires Franco da Conceição
 Thassiany de Castro Alves
 Yuri Marinho Ferreira
 Vanessa Maria Basso
 Érika Flávia Machado Pinheiro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2782412088>

CAPÍTULO 994

PARCELAMENTO DE SOLUÇÃO NUTRITIVA NA CULTURA DO RABANETE EM SISTEMA SEMI-HIDROPÔNICO

Gersone Hilgert de Oliveira
 Everton Martins Arruda
 Manoel Euzébio de Souza


Marcos Paulo dos Santos
 Risely Ferraz Almeida
 Silvan Gomes de Brito
 Dhiego César Oliveira Riva Neto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2782412089>

CAPÍTULO 10..... 103

**GERVÃO-ROXO (*STACHYTARPHETA CAYENNENSIS*) AS A BITTER
 INGREDIENT IN BEER**


Fernando Antônio Anjo
 Anderson Lazzari
 Renata Letícia Akina Yoshii
 Fábio Nakamura
 Bianka Rocha Saraiva
 Paula Toshimi Matumoto-Pintro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.27824120810>

CAPÍTULO 11 118

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS A
 PARTIR DE RESÍDUOS DE PALMA DE ÓLEO SUBMETIDOS AO PROCESSO
 DE CRAQUEAMENTO TÉRMICO-CATALÍTICO**

Mário Davi Coutinho Santos
 Letícia Bentes Soares
 Claudemir de Jesus dos Santos Júnior
 Odete Kariny Souza Santos
 Ellen Thaís Nunes de Sousa
 Ana Regina da Rocha Araújo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.27824120811>

SOBRE AS ORGANIZADORAS..... 126

ÍNDICE REMISSIVO..... 127

ÁCIDO GIBERÉLICO NA OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO FRUTÍFERA

Data de aceite: 01/08/2024

Francisco José Domingues Neto

Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade de Ciências Agrômicas,
Botucatu

Marco Antonio Tecchio

Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade de Ciências Agrômicas,
Botucatu

João Domingos Rodrigues

Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Instituto de Biociências, Botucatu.

RESUMO: O ácido giberélico (GA) é um hormônio vegetal crucial no crescimento e desenvolvimento das plantas, promovendo alongação celular, germinação de sementes e indução de floração. Descoberto inicialmente no Japão, o GA é amplamente utilizado na agricultura para melhorar o desempenho das culturas. Na produção de mudas frutíferas, o GA se destaca por acelerar a germinação, aumentar a uniformidade das plântulas e promover o crescimento radicular e da parte aérea. Sua aplicação é particularmente benéfica em condições adversas, como baixas temperaturas e baixa disponibilidade de

água, facilitando a emergência e vigor das plântulas. Além de melhorar a fisiologia das plantas, o GA contribui para a redução do ciclo produtivo e dos custos operacionais, aumentando a eficiência e a lucratividade das operações agrícolas. Em frutíferas, o GA é utilizado em diferentes concentrações e métodos de aplicação, variando conforme a espécie e o objetivo específico, como aumentar o tamanho dos frutos em uvas e prolongar a vida útil pós-colheita em citros. A pesquisa contínua sobre dosagem e técnicas de aplicação é essencial para maximizar os benefícios do GA, tornando-o um componente essencial para a sustentabilidade e produtividade agrícola.

INTRODUÇÃO

Na produção agrícola, a saúde e a qualidade das plantas são cruciais, influenciando diretamente o desempenho final tanto do ponto de vista nutricional quanto produtivo. Plantas bem desenvolvidas podem aumentar a produção, enquanto plantas mal formadas podem prolongar o ciclo da cultura e causar prejuízos ao produtor (CAMPANHARO et

al., 2006; DOMINGUES NETO et al., 2017; GUIMARÃES et al., 2002). A uniformidade e a qualidade fisiológica das plantas são fatores determinantes para o sucesso do cultivo de frutíferas.

A obtenção de plantas vigorosas pode ser desafiadora devido à desuniformidade de germinação e aos longos períodos de desenvolvimento inicial (SOUSA et al., 2002). Reguladores vegetais, como o ácido giberélico (GA), têm se mostrado eficazes em superar esses obstáculos, promovendo a germinação e o desenvolvimento inicial (RODRIGUES et al., 2010). Esses reguladores estão envolvidos nos processos de crescimento e desenvolvimento das plantas, podendo ser utilizados para acelerar e uniformizar a germinação das sementes (SALISBURY; ROSS, 1991; TAIZ; ZEIGER, 2013).

O ácido giberélico também desempenha um papel crucial na quebra da dormência e na promoção da hidrólise de reservas durante a germinação, facilitando a expansão celular e o crescimento (BORGHETTI, 2004; SILVA et al., 2005; MARCOS FILHO, 2005). Além disso, está associado ao aumento da altura das plantas, à melhoria da fotossíntese e ao avanço do ciclo de vida das culturas. A aplicação de GA pode atenuar os efeitos adversos de fatores externos, como temperatura, umidade e qualidade do substrato, proporcionando um ambiente mais favorável para o desenvolvimento das plantas.

O crescimento e desenvolvimento das frutíferas é particularmente sensível a fatores externos. A aplicação de reguladores vegetais pode atenuar os efeitos adversos desses fatores, proporcionando um ambiente mais favorável para a germinação, crescimento, desenvolvimento e produção das plantas. Por exemplo, as giberelinas não apenas promovem a germinação, mas também ajudam na adaptação das plantas a condições desfavoráveis, aumentando a capacidade de recuperação durante as fases iniciais de desenvolvimento (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Além dos benefícios fisiológicos, o uso de GA pode trazer vantagens econômicas significativas. Reduzir o tempo necessário para a formação das plantas pode diminuir os custos operacionais e aumentar a eficiência do ciclo produtivo. Isso é especialmente relevante em cultivos comerciais de grande escala, onde a uniformidade e a rapidez na formação das plantas podem impactar diretamente a produtividade e a lucratividade. Portanto, a aplicação de GA melhora a qualidade das plantas e contribui para a sustentabilidade econômica das operações agrícolas.

O GA também desempenha um papel importante na fisiologia pós-colheita de frutíferas. A aplicação de GA pode atrasar o amadurecimento, prolongar a vida útil dos frutos e melhorar sua qualidade durante o armazenamento. Além disso, o GA pode reduzir a incidência de desordens fisiológicas e aumentar a resistência dos frutos a danos mecânicos e patógenos durante o transporte e armazenamento (YADAV et al., 2022).

A pesquisa contínua sobre o uso de reguladores vegetais em diferentes espécies de frutíferas é essencial para otimizar práticas agrônomicas e promover inovações no campo. Estudos focados na dosagem, tempo de aplicação e combinação de reguladores vegetais

podem oferecer informações valiosas para maximizar os benefícios dessas substâncias. Diante disso, o uso de reguladores vegetais na produção frutífera pode otimizar os processos de germinação, crescimento e desenvolvimento, resultando em plantas mais uniformes e vigorosas.

Diante disso, o uso de GA na produção frutífera pode otimizar os processos de germinação, crescimento e desenvolvimento, resultando em plantas mais uniformes, vigorosas e produtivas. Este capítulo aborda os efeitos do ácido giberélico na germinação, crescimento e desenvolvimento, bem como na fisiologia e pós-colheita, na otimização da produção frutífera.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo sobre o ácido giberélico na produção frutífera foi elaborado mediante levantamento de boletins técnicos, artigos científicos e livros que abordam os principais aspectos relacionados ao uso desse regulador na fruticultura, como a síntese e o modo de ação e os principais benefícios fisiológicos.

ÁCIDO GIBERÉLICO E SEU MECANISMO DE AÇÃO

O ácido giberélico (GA) é um hormônio vegetal que desempenha um papel crucial no crescimento e desenvolvimento das plantas. Descoberto inicialmente no Japão em 1938 durante estudos sobre a doença “bakanae” no arroz, causada pelo fungo *Gibberella fujikuroi* (TAIZ; ZEIGER, 2013), o GA é conhecido por promover a alongação celular, estimular a germinação de sementes e induzir a floração em diversas espécies (SALISBURY; ROSS, 1991). Estruturalmente, o GA pertence à classe das diterpenoides e é amplamente utilizado na agricultura para melhorar o desempenho das culturas.

Além de seu papel na promoção do crescimento, o GA influencia uma série de processos fisiológicos nas plantas, incluindo a síntese de enzimas hidrolíticas durante a germinação e a mobilização de reservas nutritivas nas sementes (BORGHETTI, 2004). Sua aplicação pode ser particularmente benéfica em condições onde a germinação é dificultada por fatores ambientais adversos, como baixa temperatura e disponibilidade limitada de água. Dessa forma, o GA se estabelece como um componente essencial para a otimização da produção agrícola, especialmente na formação de plantas vigorosas e saudáveis (DOMINGUES NETO et al., 2017).

Existem diversas giberelinas, sendo que mais de 136 tipos diferentes foram identificados até o momento. Essas giberelinas são numeradas de GA₁ até GA₁₃₆, variando em suas estruturas químicas e efeitos fisiológicos. As giberelinas mais utilizadas na agricultura incluem o GA₁, GA₃, GA₄ e GA₇, com o GA₃ sendo a mais comum devido à sua eficácia na promoção do crescimento e desenvolvimento das plantas. Cada uma dessas

giberelinas possui características específicas que podem ser aproveitadas de acordo com as necessidades das culturas e condições ambientais (SALISBURY; ROSS, 1991; TAIZ; ZEIGER, 2013).

O ácido giberélico exerce seus efeitos fisiológicos nas plantas ao promover a síntese de enzimas que degradam o endosperma das sementes, liberando nutrientes essenciais para o crescimento do embrião (BORGHETTI, 2004; MARCOS FILHO, 2005). Além disso, o GA interage com outros hormônios vegetais, como citocininas e etileno, para coordenar processos de crescimento e desenvolvimento (TAIZ; ZEIGER, 2013). A sinalização do GA envolve a ligação a receptores específicos, ativando cascatas de transdução de sinal que regulam a expressão gênica (SILVA et al., 2005).

O GA é fundamental na quebra de dormência das sementes, um processo essencial para a germinação. Ele promove a hidrólise das reservas de amido no endosperma, liberando açúcares que são utilizados pelo embrião em crescimento (BORGHETTI, 2004; SILVA et al., 2005). A aplicação de GA pode acelerar significativamente a emergência das plântulas, reduzindo o tempo necessário para a formação de mudas vigorosas (DOMINGUES NETO et al., 2017). Ele também ativa a expressão de genes associados à germinação, aumentando a produção de enzimas como amilases, que hidrolisam o amido armazenado em açúcares simples, fornecendo energia para o embrião em crescimento (MARCOS FILHO, 2005). Além disso, o GA pode modular a plasticidade celular, permitindo uma expansão mais eficiente das células vegetais e facilitando o crescimento das plântulas sob condições de estresse (BORGHETTI, 2004).

Além de acelerar a germinação, o GA pode melhorar a uniformidade das plântulas emergentes, resultando em um desenvolvimento mais homogêneo no campo (RODRIGUES et al., 2010). Essa uniformidade é crucial para a gestão eficiente das lavouras, facilitando práticas de manejo como a irrigação e a aplicação de fertilizantes. Em suma, o GA desempenha diversas ações fisiológicas na promoção de um início vigoroso para as culturas frutíferas.

O GA não apenas facilita a germinação, mas também promove o crescimento radicular e da parte aérea das mudas. Ele aumenta a taxa de alongação celular, resultando em plantas mais altas e robustas (TAIZ; ZEIGER, 2013). Além disso, o GA melhora a eficiência da fotossíntese e a absorção de nutrientes, contribuindo para um desenvolvimento mais saudável das plantas (MARCOS FILHO, 2005). Estudos indicam que plantas tratadas com GA apresentam uma maior capacidade de absorção de água e nutrientes, o que se traduz em um crescimento mais rápido e eficiente (SILVA et al., 2005). Isso é particularmente vantajoso em condições de campo onde os recursos podem ser limitados. O impacto positivo do GA no crescimento das mudas reflete-se diretamente na produtividade das plantas adultas, fazendo deste hormônio um aliado valioso na agricultura moderna.

O GA exerce sua ação fisiológica principalmente através da modulação da expressão gênica em células-alvo. Um dos mecanismos centrais envolve a interação do GA com

receptores específicos na célula, que desencadeia uma série de eventos bioquímicos que culminam na degradação de repressoras de crescimento conhecidas como DELLA proteins. As proteínas DELLA atuam como inibidores do crescimento ao suprimir a transcrição de genes responsáveis pela alongação celular. A presença do GA promove a ubiquitinação e subsequente degradação dessas proteínas repressoras via sistema proteassoma, permitindo assim a ativação dos genes que promovem o crescimento e desenvolvimento celular (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Além de facilitar a alongação celular, o GA também desempenha um papel crucial na mobilização de reservas energéticas durante a germinação das sementes. Após a imbibição da água, o GA é sintetizado no embrião da semente e transportado para o tecido aleurona, onde induz a síntese de enzimas hidrolíticas como amilases, proteases e lipases. Essas enzimas degradam as reservas nutritivas armazenadas no endosperma, liberando açúcares, aminoácidos e ácidos graxos que são utilizados pelo embrião em crescimento. Esse processo é essencial para a germinação eficiente e o estabelecimento inicial da plântula, especialmente em condições ambientais adversas (SALISBURY; ROSS, 1991).

APLICAÇÕES DO ÁCIDO GIBERÉLICO NA FRUTICULTURA

O GA é amplamente utilizado em diversas culturas frutíferas para otimizar a germinação e o crescimento inicial das mudas. Estudos mostram que o GA pode aumentar significativamente a taxa de germinação de sementes de citros, maracujá, uvas e outras frutíferas, promovendo uma emergência mais rápida e uniforme das plântulas (RODRIGUES et al., 2010). Além disso, o GA é utilizado para melhorar a qualidade dos frutos e aumentar a produtividade das plantas (CAMPANHARO et al., 2006).

Na fruticultura, o GA é aplicado de diferentes formas dependendo da cultura e do objetivo específico. Para promover a germinação, as sementes são frequentemente embebidas em soluções de GA antes da semeadura. Em culturas como a uva, o GA é aplicado via pulverização foliar para melhorar o tamanho dos frutos e uniformizar a maturação (KAPLAN et al, 2019; LI et al., 2024). Em citros, o GA pode ser utilizado para reduzir a queda precoce de frutos, aumentando assim o rendimento da colheita (DAVENPORT, 1990).

No maracujá doce e no maracujá amarelo, o GA tem demonstrado ser eficaz na promoção do crescimento vegetativo e na melhoria da frutificação. A aplicação do GA pode aumentar o número de flores e frutos por planta, resultando em colheitas mais abundantes e uniformes. Em particular, a pulverização foliar de GA tem sido utilizada para sincronizar a floração e melhorar a qualidade dos frutos, tornando-os mais atrativos comercialmente (RODRIGUES et al., 2010). O GA também melhora a germinação das sementes de maracujás, acelerando o processo e aumentando a uniformidade das plântulas, o que é crucial para a produção eficiente de mudas (CONEGLIAN et al., 2000; ROSSETTO et al., 2000; FERREIRA et al., 2001; FOGAÇA et al., 2001).

Na produção de estacas de uvas, o GA é utilizado para promover o enraizamento e o desenvolvimento inicial das plantas. A imersão das estacas em soluções de GA antes do plantio tem mostrado aumentar significativamente a taxa de enraizamento e a qualidade das mudas. Isso é particularmente importante em programas de propagação vegetativa, onde a uniformidade e a saúde das mudas são cruciais para o sucesso da plantação (KAPLAN et al, 2019; LI et al., 2024). Além disso, o GA também pode melhorar a germinação das sementes de uva, promovendo uma emergência mais rápida e vigorosa das plântulas, importante para o melhoramento genético.

Para o pêssego, a aplicação de GA pode ser usada para afinar frutos, promovendo a queda dos frutos menores e aumentando o tamanho dos frutos remanescentes. Isso resulta em frutos maiores e de melhor qualidade, que são mais valorizados no mercado. Além disso, o GA pode ser aplicado para melhorar a firmeza dos frutos, prolongando sua vida útil durante o armazenamento e transporte (DAVENPORT, 1990). A germinação das sementes de pêssego também se beneficia do GA, que promove uma emergência mais rápida e uniforme das plântulas.

Em goiabas, o GA é aplicado para melhorar a frutificação e a qualidade dos frutos. A pulverização de GA durante a fase de desenvolvimento dos frutos pode aumentar o tamanho e a uniformidade dos frutos, além de melhorar suas características organolépticas. Isso não só aumenta a produtividade, mas também a aceitação dos frutos no mercado, beneficiando economicamente os produtores (VALERO; SERRANO, 2010). O GA também é eficaz na germinação das sementes de goiaba, acelerando o processo e melhorando a uniformidade das mudas.

No limão cravo, o uso de GA é benéfico tanto na germinação das sementes quanto na produção de mudas de alta qualidade. A imersão das sementes em soluções de GA antes da semeadura pode aumentar a taxa de germinação e promover uma emergência mais rápida e uniforme das plântulas. Além disso, a aplicação de GA nas mudas pode estimular o crescimento vegetativo, resultando em plantas mais vigorosas e com maior potencial produtivo. Isso é particularmente importante para garantir a produção de limões cravo de alta qualidade e melhorar a rentabilidade dos produtores (DAVENPORT, 1990).

A aplicação do GA também é relevante em práticas de manejo pós-colheita, onde pode retardar o amadurecimento e prolongar a vida útil dos frutos (SALISBURY; ROSS, 1991). Isso é particularmente importante para culturas de exportação, onde a manutenção da qualidade durante o transporte é crucial. Em frutas como maçãs e pêras, a aplicação de GA após a colheita ajuda a manter a firmeza dos frutos e a reduzir a incidência de distúrbios fisiológicos durante o armazenamento (VALERO; SERRANO, 2010).

Além disso, o GA é utilizado em programas de melhoramento genético para selecionar plantas com características desejáveis. Por exemplo, em programas de seleção de porta-enxertos de citros, o GA pode ser usado para induzir a floração precoce, permitindo avaliações mais rápidas das características de frutificação. Assim, o uso de GA

não só melhora o desempenho das plantas durante o crescimento, mas também contribui para a sustentabilidade econômica ao reduzir perdas pós-colheita e acelerar programas de melhoramento genético.

TÉCNICAS DE APLICAÇÃO DO ÁCIDO GIBERÉLICO

Existem várias técnicas para aplicar o GA nas culturas frutíferas. A embebição de sementes em soluções de GA é uma prática comum para promover a germinação (SOUSA et al., 2002; SILVA et al., 2005). Pulverizações foliares de GA durante as fases iniciais de desenvolvimento também são eficazes para melhorar o crescimento das mudas (RODRIGUES et al., 2010; TAIZ; ZEIGER, 2013). A dosagem e a frequência de aplicação variam conforme a espécie e as condições de cultivo (DOMINGUES NETO et al., 2017; YADAV et al., 2022).

Para otimizar os efeitos do GA, é importante ajustar a concentração e o método de aplicação de acordo com as necessidades específicas de cada cultura. Experimentos controlados podem ajudar a determinar as doses mais eficazes e os melhores momentos para a aplicação, maximizando os benefícios do GA sem causar efeitos adversos (CAMPANHARO et al., 2006; GUIMARÃES et al., 2002). O uso de tecnologias avançadas, como sistemas de liberação controlada, pode ainda melhorar a eficiência da aplicação de reguladores vegetais.

Existem várias técnicas para aplicar o GA nas culturas frutíferas, cada uma adaptada às necessidades específicas de diferentes espécies e objetivos agrônômicos. A embebição de sementes em soluções de GA é uma prática comum para promover a germinação. Por exemplo, em uvas (*Vitis vinifera*), o GA é usado para aumentar o tamanho das bagas. A aplicação típica é de 40-60 ppm de GA₃ em pulverização foliar, realizada quando as bagas atingem 7-10 mm de diâmetro e repetida após 7-10 dias (KAPLAN et al, 2019; LI et al., 2024). Em citros (*Citrus spp.*), o GA é aplicado para atrasar o amadurecimento e prolongar a vida útil pós-colheita. A dose recomendada é de 20-50 ppm de GA₃ em pulverização foliar, aplicada 3-4 semanas antes do pico de maturação dos frutos (GARMENDIA et al, 2019) ou a imersão de sementes em uma solução de GA₃ a 50 ppm durante 24 horas pode quebrar a dormência e acelerar a germinação (SOUSA et al., 2002; SILVA et al., 2005; RODRIGUES et al., 2010). Já em sementes de maracujá (*Passiflora alata*), a embebição em GA₃ à 500 ppm tem mostrado aumentar significativamente a taxa de germinação (FERREIRA et al., 2001).

No caso das maçãs (*Malus domestica*), o GA é utilizado para melhorar a frutificação e reduzir a queda de frutos. A aplicação envolve 25-50 ppm de GA₄₊₇ em pulverização foliar, realizada no período de pré-florescimento e repetida após a queda das pétalas (MCARTNEY et al., 2014).

Para cerejas (*Prunus avium*), o objetivo é promover a floração e uniformizar o amadurecimento. A dose recomendada é de 30-50 ppm de GA₃ em pulverização foliar, aplicada no início da floração e repetida durante o desenvolvimento dos frutos (KUHN et al., 2020).

Por fim, em pêssegos (*Prunus persica*), o GA é aplicado para melhorar o tamanho e a qualidade dos frutos. A dosagem varia de 25-75 ppm de GA₃ em pulverização foliar, aplicada após a queda das pétalas e repetida no estágio de crescimento do fruto (SHIN et al., 2023).

A eficiência do GA pode ser maximizada ajustando-se a concentração e o método de aplicação conforme as necessidades específicas de cada cultura e as condições ambientais. Por exemplo, em condições de alta umidade, a aplicação de doses menores em intervalos mais frequentes pode ser mais eficaz. Além disso, a utilização de sistemas de liberação controlada pode permitir uma liberação gradual e uniforme do GA, reduzindo o risco de fitotoxicidade e aumentando a eficácia do tratamento.

BENEFÍCIOS ECONÔMICOS DA UTILIZAÇÃO DO ÁCIDO GIBERÉLICO

O uso de GA na produção frutífera oferece benefícios econômicos significativos. A redução do tempo necessário para a formação das mudas, crescimento e desenvolvimento e produção das plantas pode diminuir os custos operacionais e aumentar a eficiência do ciclo produtivo (GUIMARÃES et al., 2002). Em cultivos comerciais de grande escala, a uniformidade e rapidez na formação e produção das plantas a campo podem impactar diretamente a produtividade e a lucratividade das operações agrícolas (DOMINGUES NETO et al., 2017).

Além de reduzir os custos, o GA pode aumentar a rentabilidade ao melhorar a qualidade dos produtos finais (CAMPANHARO et al., 2006). Frutos maiores, de melhor qualidade e com maior “shelf-life” podem alcançar preços mais altos no mercado, beneficiando economicamente os produtores. A aplicação de GA pode aumentar o tamanho dos frutos em até 20 %, resultando em um incremento de preço de até 30 % no mercado.

Outro benefício econômico importante é a redução da necessidade de tratamentos pós-colheita, que podem ser custosos e impactar a margem de lucro dos produtores. A melhoria na qualidade dos frutos e a uniformidade proporcionada pelo GA contribuem para a diminuição de perdas durante o transporte e armazenamento, aumentando a eficiência da cadeia de suprimentos.

Ademais, o GA pode contribuir para a sustentabilidade econômica das operações agrícolas ao promover práticas de cultivo mais eficientes e produtivas. A aplicação de GA em vinhedos, por exemplo, pode reduzir o ciclo de produção em até 10 dias, permitindo uma colheita mais rápida e eficiente. Essa redução no ciclo produtivo pode resultar em uma economia de custos de mão de obra e insumos agrícolas, além de possibilitar a implementação de estratégias de colheita e comercialização mais ágeis e lucrativas.

Assim, a aplicação de GA se mostra não apenas uma técnica agrônômica eficiente, mas também uma estratégia economicamente vantajosa, promovendo a sustentabilidade e a rentabilidade das operações agrícolas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso do ácido giberélico na otimização da produção frutífera apresenta uma série de benefícios, incluindo a promoção da germinação, o aumento da altura das plantas e eficiência fotossintética e a melhoria da produção e qualidade dos frutos. Para maximizar esses benefícios, é essencial seguir práticas de aplicação adequadas e considerar os desafios associados. Recomendações práticas para produtores incluem a otimização da dosagem, das formas e frequência de aplicação, bem como a integração de novas tecnologias para monitorar e melhorar a eficiência do uso de GA. A pesquisa contínua é fundamental para desenvolver abordagens mais sustentáveis e inovadoras na utilização de reguladores vegetais na agricultura.

Em resumo, o GA é uma ferramenta promissora para a otimização da produção frutífera, proporcionando vantagens econômicas tanto em termos de rendimento quanto de qualidade. A implementação de técnicas baseadas em evidências e a consideração cuidadosa dos fatores ambientais e fisiológicos garantirão que os benefícios do GA sejam plenamente realizados, promovendo práticas agrícolas mais eficientes e sustentáveis.

REFERÊNCIAS

BORGHETTI, F.; FERREIRA, A. G. Interpretação de resultados de germinação. In: FERREIRA, A. G.; BORGHETTI, F. **Germinação: do básico ao aplicado**. Porto Alegre: Artmed, p. 209-222, 2004.

CAMPANHARO, M.; RODRIGUES, J. J. V.; LIRA JUNIOR, M. A.; ESPINDULA, M. C.; COSTA, J. V. T. Características físicas de diferentes substratos para produção de mudas de tomateiro. **Caatinga**, v. 19, n. 02, p. 140-145, 2006.

CONEGLIAN, R. C. C.; ROSSETTO, C. A. V.; SHIMIZU, M. K.; VASCONCELLOS, M. A. S. Efeitos de métodos de extração e de ácido giberélico na qualidade de sementes de maracujá doce (*Passiflora alata* Dryand). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 22, p. 463-467, 2000.

DAVENPORT, T. L. Citrus flowering. **Horticultural Reviews**, v. 12, 1990.

DOMINGUES NETO, F. J.; DALANHOL, S. J.; MACHRY, M.; PIMENTEL JUNIOR, A.; RODRIGUES, J. D.; ONO, E. O. Effects of plant growth regulators on eggplant seed germination and seedling growth. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, p. 1277-1282, 2017.

FERREIRA, G.; FOGAÇA, L. A.; MORO, E. Germinação de sementes de *Passiflora alata* Dryander (maracujá doce) submetidas a diferentes tempos de embebição e doses de ácido giberélico. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 23: 160-163, 2001.

FOGAÇA, L. A.; FERREIRA, G.; BLOEDORN, M. Efeito do ácido giberélico (GA₃) aplicado em sementes de maracujá doce (*Passiflora alata* Dryander) para a produção de mudas em diferentes embalagens. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.23, n.1, p.152-155. 2001.

GARMENDIA, A.; BELTRÁN, R.; ZORNOZA, C.; GARCÍA-BREIJO, F. J.; REIG, J.; MERLE, H. Gibberellic acid in *Citrus* spp. flowering and fruiting: A systematic review. **PLoSOne**, v. 14, p. 1-24, 2019.

GUIMARÃES, V. F.; ECHER, M. M.; MINAMI, K. Métodos de produção de mudas, distribuição de matéria seca e produtividade de plantas de beterraba. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 03, p. 505-509, 2002.

KAPLAN, M.; NAJDA, A.; KLIMEK, K.; BOROWY, A. Effect of gibberellic acid (GA₃) inflorescence application on content of bioactive compounds and antioxidant potential of grape (*Vitis* L.) 'Einset Seedless' berries. **South African Journal of Enology and Viticulture**, v. 40, p.1-10, 2019.

KUHN, N.; PONCE, C.; ARELLANO, M.; TIME, A.; SAGREDO, B.; DONOSO, J. M.; MEISEL, L. A. Gibberellic acid modifies the transcript abundance of ABA pathway orthologs and modulates sweet cherry (*Prunus avium*) fruit ripening in early-and mid-season varieties. **Plants**, v. 9, p. 1796-1810, 2020.

LI, X.; CAI, Z.; LIU, X.; WU, Y.; HAN, Z.; YANG, G.; LI, S.; XIE, Z.; LIU, L.; LI, B. Effects of gibberellic acid on soluble sugar content, organic acid composition, endogenous hormone levels, and carbon sink strength in Shine Muscat grapes during berry development stage. **Horticulturae**, v. 10, p. 346-360, 2024.

MARCOS FILHO J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: Fealq, 495 pp, 2005.

MCARTNEY, S.; GREENE, D.; ROBINSON, T.; WARGO, J. Evaluation of GA₄₊₇ plus 6-Benzyladenine as a frost-rescue treatment for apple. **HortTechnology**, v. 24, p. 171-176, 2014.

RODRIGUES, F. A.; FREITAS, G. F.; MOREIRA, R. A.; PASQUAL, M. Caracterização dos frutos e germinação de sementes dos porta-enxertos trifoliata flyingdragon e citrumelo 'Swingle'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 32, n. 4, p. 1180-1188, 2010.

ROSSETTO, C. A. V.; CONEGLIAN, R. C. C.; NAKAGAWA, J.; SHIMIZU, M. K.; MARIN, V. A. Germinação de sementes de maracujá doce (*Passiflora alata* Dryand) em função de tratamento pré germinativo. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 22, p.247-252, 2000.

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. 1991. **Plant Physiology**. Wadsworth, Belmont, USA, 759pp.

SHIN, J. S.; PARK, H. S.; LEE, K. W.; SONG, J. S.; HAN, H. Y.; KIM, H. W.; CHO, T. J. Advances in the strategic approaches of pre- and post-harvest treatment technologies for peach fruits (*Prunus persica*). **Horticulturae**, v. 9, p. 315-355, 2023.

SILVA, E. A. A.; TOOROP, P. E.; NIJSSE, J.; BEWLEY, J. D.; HILHORST, W.M. Exogenous gibberellins inhibit coffee (*Coffea arabica* cv. Rubi) seed germination and cause cell death in the embryo. **Journal of Experimental Botany**, Columbus, v. 56, n. 413, p. 1029-1038, 2005.

SOUSA, H. U.; RAMOS, J. D.; PASQUAL, M.; FERREIRA, E. A. Efeito do ácido giberélico sobre a germinação de sementes de porta enxertos cítricos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 496-499, 2002.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5. Ed. Porto Alegre: Artmed. 2013, 918 p.

VALERO, D.; SERRANO, M. **Postharvest biology and technology for preserving fruit quality**. CRC Press, 2010.

YADAV, S.; YADAV, S. P. S.; ADHIKARI, N.; SAH, R. K.; GUPTA, S. Effects of gibberellic acid (GA₃) on shelf life and physiochemical properties of mango (*Mangifera indica* L. var Bombay green). **Archives of Agriculture and Environmental Science**, v. 7, p. 541-548, 2022.

ALTERAÇÕES MORFO-FISIOLÓGICAS DO CAFEIEIRO CULTIVADO EM SISTEMA ARBORIZADO COM CEDRO AUSTRALIANO

Data de submissão: 07/07/2024

Data de aceite: 01/08/2024

Carmem Lacerda Lemos Brito

Doutora em Agronomia, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia-UESB
Vitória da Conquista – BA
<http://lattes.cnpq.br/7028634505242136>

Sylvana Naomi Matsumoto

Professora, DSc, Departamento de Fitotecnia e Zootecnia, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia-UESB
Vitória da Conquista – BA
<http://lattes.cnpq.br/1599330040151872>

Héberton Lima Fagundes

Engenheiro Agrônomo, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia-UESB
Vitória da Conquista – BA
<http://lattes.cnpq.br/2929288643953802>

Aline Novais Santos Gonçalves

Mestre em Agronomia, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia-UESB
Vitória da Conquista – BA
<http://lattes.cnpq.br/7400865331099087>

Milena Lima Fernandes Santos

Engenheira Agrônoma, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia-UESB
Vitória da Conquista – BA
<http://lattes.cnpq.br/6629238025380758>

RESUMO: O Brasil tem a cafeicultura como uma das principais atividades econômicas de seu agronegócio, no entanto, as mudanças climáticas impõem sérios desafios aos agricultores para manter os níveis de produção agrícola no futuro, assim a arborização torna-se essencial como meio de proteção contra efeitos extremos do ambiente. O objetivo deste estudo foi verificar se as diferentes distâncias entre o cafeeiro e o cedro podem alterar as características morfo-fisiológicas do cafeeiro. O ensaio foi conduzido no município de Barra do Choça–BA, em uma propriedade particular, em área composta por árvores de cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem) dispostas em dois renques subsequentes, com espaçamento de 19,8 × 3 m, e cafeeiro arábica var. Catucaí Vermelho (3,3 × 0,5 m). Os tratamentos foram definidos pela distância dos cafeeiros em relação à primeira linha do renque de cedro (T1: 3,3 m; T2: 6,6 m; T3: 9,9 m; T4: 13,2m e T5: 16,5 m). Em agosto/2021 foram realizadas avaliações de altura, número de ramos plagiotrópicos, diâmetro de caule e índice SPAD do cafeeiro. À distância a partir do renque analisada afeta a morfologia dos cafeeiros, promovendo aumento na altura do cafeeiro e menor diâmetro de caule. A

restrição de luz proporciona aumento nas concentrações de clorofila nos cafeeiros localizados próximos aos renques de cedro.

PALAVRAS-CHAVE: *Coffea arabica* L., sombreamento, crescimento.

MORPHO-PHYSIOLOGICAL CHANGES IN COFFEE CULTIVATED IN A SYSTEM WOODED WITH AUSTRALIAN CEDAR

ABSTRACT: Brazil has coffee growing as one of the main economic activities of its agribusiness, however, climate change imposes serious challenges on farmers to maintain agricultural production levels in the future, so afforestation becomes essential as a means of protection against extreme effects of the environment. The objective of this study was to verify whether the different distances between coffee and cedar can change the morpho-physiological characteristics of the coffee tree. The experiment was carried out in the municipality of Barra do Choça -BA, on a private property, in an area composed of Australian cedar trees (*Toona ciliata* M. Roem) arranged in two subsequent rows, with a spacing of 19.8 × 3 m, and arabica coffee var. Red Catucaí (3.3 × 0.5 m). The treatments were defined by the distance of the coffee trees in relation to the first row of the cedar row (T1: 3.3 m; T2: 6.6 m; T3: 9.9 m; T4: 13.2 m and T5: 16.5 m). In August/2021, height, number of plagiotropic branches, stem diameter and SPAD index of coffee were carried out. The distance from the analyzed row affects the morphology of the coffee trees, promoting an increase in the height of the coffee tree and smallest stem diameter. Light restriction provides an increase in chlorophyll concentrations in coffee trees located close to cedar rows.

KEYWORDS: *Coffea arabica* L., shading, growth.

INTRODUÇÃO

O modelo de cafeeiro mais utilizado no Brasil é o monocultivo a pleno sol, no entanto, consorciação com outras culturas vem ganhando espaço e sendo pesquisado, tanto do ponto de vista econômico como sustentável, uma vez que há a preocupação com solo, água, produtividade e meio ambiente (MACHADO et al., 2020).

Ainda segundo o autor, o consórcio com espécies arbóreas com áreas agrícolas chamados de sistema agroflorestal (SAF), proporcionam algumas vantagens para o desenvolvimento das plantas como; minimizar temperaturas extremas, atenuando geadas, ventos ou secas acentuadas; reduzem a infestação de plantas daninhas; possibilitam a ciclagem de nutrientes, além de disponibilizar uma segunda fonte de renda para o produtor pelo aproveitamento das espécies arbóreas.

Nos sistemas arborizados verifica-se uma heterogeneidade na disponibilidade de luz e condições térmicas quando comparados aos cafezais a pleno sol (ALVES et al., 2016; COLTRI et al., 2019), tornando-se mais notório quando as árvores são dispostas em renques. Neste tipo de arranjo, a definição de sombreamento é vinculada ao posicionamento dos renques em relação à trajetória solar, determinada pelo movimento de rotação e translação da Terra.

Dentre os componentes arbóreos empregados nos sistemas agroflorestais de cultivo com de café, o cedro australiano (*Toona ciliatta* M. Roem) tem sido bastante utilizado devido à madeira serrada apresentar elevada qualidade (RODRIGUES et al., 2016), e também ser empregada na marcenaria, decoração e fabricação de instrumentos.

O esclarecimento específico das interações relacionadas à introdução do componente arbóreo deve ser realizado para que se possa integrá-lo à complexidade desses sistemas, estabelecendo formas de manejo cada vez mais refinadas. A compreensão dessa rede de interações poderá resultar em sustentabilidade ambiental e econômica para os cafeicultores (COELHO et al., 2010).

Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi verificar se as diferentes distâncias entre o cafeeiro e o cedro podem alterar as características morfo-fisiológicas do cafeeiro.

MATERIAL E MÉTODOS

A área do estudo localiza-se no município de Barra do Choça, no Sudoeste da Bahia, Planalto da Conquista, região localizada a 943 m de altitude, nas coordenadas geográficas 14°41'15"S e 40°26'15"W. O clima do município, conforme classificação Köppen e Geiger é do tipo Cfb caracterizado como quente e temperado, com temperatura média anual de 19,9°C, sendo a média do mês mais quente 26,8°C e a média do mês mais frio 12,2 °C.

A pesquisa foi realizada na fazenda Vidigal, em propriedade particular, e não houve interferências quanto ao manejo adotado na propriedade. A área experimental foi composta por cafeeiros arábica var. Catucaí Vermelho e árvores de cedro australiano (*Toona ciliatta* M. Roem), com sete anos de idade. O componente arbóreo o cedro estão dispostos em renques, em espaçamento 19,8 x 3,0 m no sentido oeste-sudoeste/leste-nordeste, sendo mantidas cinco linhas de café, com espaçamento de 3,3 x 0,5 m.

O delineamento adotado foi em blocos cujos tratamentos foram definidos pela distância (D) dos cafés em relação a primeira linha do renque de cedro-australiano (T1: 3,3 m; T2: 6,6 m; T3: 9,9 m; T4: 13,2 m e T5: 16,5 m), conduzidos em condição de sequeiro. Cada unidade experimental foi formada por cinco plantas, com cinco blocos, totalizando 25 plantas por tratamento. Para efeito didático, tomaram como exemplo um renque de cedro, porém, do outro extremo tinha outro renque que limitava o experimento, portanto a maior distância ficou situada nos tratamentos (T3) e (T4) com as respectivas distâncias 9,9, 13,2 m em relação a um renque.

As avaliações foram realizadas em agosto (época com pouca precipitação – estação seca) de 2021. Foi determinada a altura das plantas de café com uma régua graduada disposta paralelamente ao caule; contagem do número de ramos plagiotrópicos; diâmetro do caule do cafeeiro medido com auxílio de paquímetro digital e a intensidade da cor verde se deu com o auxílio de um medidor portátil, SPAD 502 Minolta, Japão, realizada em folhas completamente expandidas.

Os resultados foram submetidos à análise de regressão a 5% de probabilidade utilizando o programa SISVAR, versão 5.6.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a relação entre altura e as distâncias do renque de cedro, foi ajustado modelo polinomial de segunda ordem, caracterizado por maior vigor de crescimento dos cafeeiros situados próximos ao renque de árvores, tratamentos T1 e T5 (Figura 1A). Os resultados observados evidenciam uma estratégia de escape das plantas ao sombreamento. Assim, tem-se verificado que a restrição de luz pode gerar um aumento do comprimento dos internódios, resultando em aspecto de estiolamento e, conseqüentemente, elevando os valores de altura das plantas. De acordo Da Matta (2004), embora em muitos estudos a característica altura seja utilizada como um dos parâmetros de crescimento, o autor ressalta que em sistemas com restrição de luz, esta é uma alteração morfológica que não pode ser diretamente relacionada ao vigor vegetativo da planta e sim a uma anomalia fisiológica denominada estiolamento.

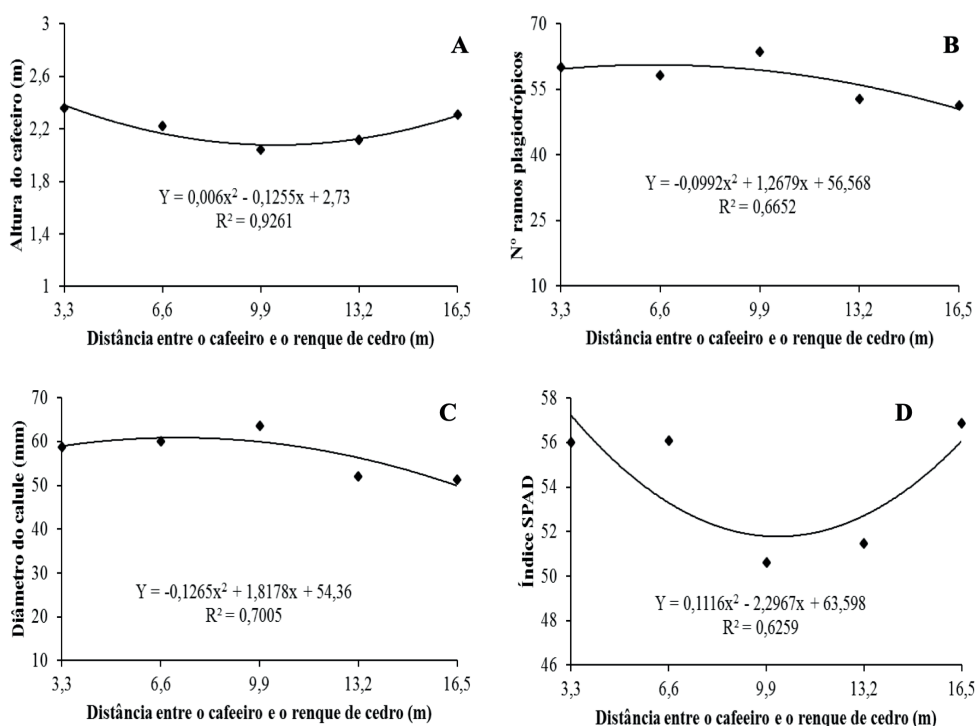


Figura 1. Altura (A), número de ramos plagiotrópicos (B), diâmetro do caule (C) e índice SPAD (D) avaliado em linhas cafeeiras, dispostas em diferentes distâncias em relação a dois renques de cedro. Barra do Choça - Bahia, agosto 2021.

*Significativo 5% de probabilidade pela análise de variância da regressão.

Quando se analisou o número de ramos plagiotrópicos e o diâmetro do caule do cafeeiro em relação à distância entre o cafeeiro e o renque de cedro, verificaram-se maiores valores para o tratamento T3, que se encontra numa posição central quando comparado aos demais tratamentos (Figuras 1B e 1C). Possivelmente, a maior radiação incidente nesse tratamento propiciou condições adequadas para ocorrer incremento na quantidade de ramos produtivos e maior diâmetro do cafeeiro. Resultado semelhante foi observado em estudo realizado por Pereira et al., (2021), verificaram maior diâmetro de caule para os cafezais situados mais distantes do componente arbóreo.

A relação entre índice SPAD e distância entre cafeeiros e renque de cedros foi definida pelo modelo polinomial de segunda ordem (Figura 1D), corroborando com resultados verificado por Campa et al. (2017). Os citados autores verificaram que a condição de sombreamento resultou em elevação do índice SPAD para os cafeeiros. Quando as plantas possuem plasticidade, em ambientes com baixa disponibilidade de radiação modificam sua fisiologia aumentando os teores de clorofila, reduzindo tanto a atividade da rubisco quanto a taxa de assimilação líquida (GOMES et al., 2008).

CONCLUSÕES

À distância a partir do renque analisada afeta a morfologia dos cafeeiros, promovendo aumento na altura do cafeeiro e menor diâmetro de caule.

A restrição de luz proporciona aumento nas concentrações de clorofila nos cafeeiros localizados próximos aos renques de cedro.

REFERÊNCIAS

ALVES, V.; GOULART, F.F.; JACOBSON, T.K.B; MIRANDA FILHO, R. J.; RIBAS, C. E. D. C. Shade's benefit: coffee production under shade and full sun. **Journal of Agricultural Science**, v. 8, (11), 11-19, 2016.

CAMPA, C.; URBAN, L.; MONDOLOT, L.; FABRE, D.; ROQUES, S.; LIZZI, Y.; ARRROUF, J.; DOULBEAU, S.; BREITHER, J.-C.; LETREZ, C.; TONIUTTI, L.; BERTRAND, B.; La FISCA, P.; BIDEL, L.P.R.; Etienne, H. 2017. Juvenile coffee leaves acclimated to low light are unable to cope with a moderate light increase. **Frontiers in Plant Science** 8: article 1126.

COELHO, R. A.; MATSUMOTO, S. N.; LEMOS, C. L.; SOUZA, F. A. Nível de sombreamento, umidade de solo e morfologia do cafeeiro em sistemas agroflorestais. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 1, p. 095-102, 2010.

COLTRI, P.P; PINTO, H. S.; GONÇALVES, R. R. V.; ZULLO JUNIOR, K.R Low levels of shade and climate change adaptation of Arabica coffee in southeastern Brazil. **Heliyon**, v. 5, (2), 2019.

DA MATTA, F.M. Ecophysiological constrains on the production of shaded and unshaded coffee: a review. **Field Crops Research**, Phoenix, v.86, n.2-3, p.99-114, 2004.

GOMES, I. A. C.; CASTRO, E. M.; SOARES, A. M.; ALVES, J. D.; ALVARENGA, M. I. N.; ALVES, E.; BARBOSA, J. P. R. A. D.; FRIES, D. D. Alterações morfofisiológicas em folhas de *Coffea arabica* L. cv. “Oeiras” sob influência do sombreamento por *Acacia mangium* Willd. **Ciência Rural**, v.38, n.1, p. 109-115, 2008.

MACHADO, A.H.R.; PUJIA, J. D.; MENEZES, K. C.; MACHADO, W. A Cultura do Café (*Coffea arabica*) em Sistema Agroflorestal / Coffee Culture (*Coffea arabica*) in the Agroforestry System. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v.3, n.3, p. 1357-1369, 2020.

PEREIRA, L. F.; MATSUMOTO, S. N.; OLIVEIRA, U. S.; VIANA, A.E. S.; TEIXEIRA, E. C. Arabica coffee and cedar tree: integrating biotic and abiotic drivers. **Brazilian Journal of Environmental Sciences**, v.56, n.2, p. 327-337, 2021.

RODRIGUES, W.P.; MARTINS, M. Q.; FORTUNATO, A. S.; RODRIGUES, A. P.; SEMEDO, J. N.; SIMÕES-COSTA, M. C.; PAIS, I. P.; LEITÃO, A. E.; COLWELL, F.; GOULAO, L.; MÁRGUAS, C. Longterm elevated air [CO₂] strengthens photosynthetic functioning and mitigates the impact of supra-optimal temperatures in tropical *Coffea Arabica* and *C. canephora* species. **Global Change Biology**, v. 22, (1), 415-431, 2016.

ÁCIDO ABCSÍSICO NA COLORAÇÃO DE UVAS

Data de aceite: 01/08/2024

Francisco José Domingues Neto

Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade de Ciências Agrônômicas,
Botucatu

Daniele Maria do Nascimento

Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade de Ciências Agrônômicas,
Botucatu

Marcos Roberto Ribeiro-Junior

Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade de Ciências Agrônômicas,
Botucatu

Pedro Henrique Ribeiro

Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade de Ciências Agrônômicas,
Botucatu

Marco Antonio Tecchio

Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade de Ciências Agrônômicas,
Botucatu

RESUMO: O ácido abscísico (ABA) tem sido amplamente utilizado na viticultura como uma estratégia para mitigar a deficiência de coloração das bagas, frequentemente causada por condições climáticas adversas, especialmente em regiões com baixa amplitude térmica e durante

períodos chuvosos na fase de maturação. Este regulador de crescimento vegetal desempenha um papel crucial na promoção do acúmulo de antocianinas, pigmentos responsáveis pela coloração de frutas, flores e hortaliças. A síntese de ABA ocorre predominantemente em plastídios a partir de carotenoides, com a zeaxantina sendo um precursor chave. O ABA é transportado via floema e xilema, modulando diversos processos fisiológicos, incluindo a regulação da abertura e fechamento estomático, a resposta ao estresse hídrico e a dormência de sementes. Nas videiras, o ABA induz a expressão de genes relacionados à biossíntese de antocianinas, ativando enzimas como a chalcona sintase (CHS) e a dihidroflavonol 4-redutase (DFR), que são essenciais para a produção desses pigmentos. Além disso, o ABA influencia a sinalização hormonal e a expressão de fatores de transcrição envolvidos na resposta ao estresse, desempenhando um papel fundamental na adaptação das plantas a condições ambientais adversas. Este capítulo aborda detalhadamente a biossíntese e o mecanismo de ação do ácido abscísico, com um foco especial nos efeitos fisiológicos promovidos nas videiras, destacando sua importância para a viticultura moderna.

INTRODUÇÃO

A videira (*Vitis vinifera* L.) é uma das frutíferas mais importantes cultivadas no Brasil, destacando-se tanto pelo seu valor econômico quanto pela sua importância cultural. Em 2022, a produção brasileira de uvas atingiu 1.450.805 toneladas, distribuídas em uma área de 76.101 hectares. O estado do Rio Grande do Sul foi o maior produtor, representando 51 % da produção brasileira de uvas. Outros estados como Pernambuco, São Paulo e Bahia também se destacam, respondendo por 23 %, 11 % e 5 % da produção nacional, respectivamente. O Estado de São Paulo em 2022 produziu 159.589 toneladas da fruta, ocupando a terceira posição no contexto nacional (AGRIANUAL, 2022).

Quanto ao destino da produção nacional de uvas, 51,4 % destina-se ao processamento e 48,6 % para o consumo de uvas para mesa. Em 2022, a produção de uvas destinadas ao processamento (vinhos, sucos e derivados) foi de 830,92 milhões de quilos, o que representa 57,07 % da produção nacional (AGRIANUAL, 2022). O Rio Grande do Sul destaca-se na produção e comercialização de vinhos e sucos de uva e derivados, sendo responsável por 90 % da produção nacional desses produtos (AGRIANUAL, 2022). Em 2023 foram processados 665 milhões de litros de vinho, sendo que, as cultivares de uvas americanas e híbridas são cultivadas em 85 % dos vinhedos.

A coloração das uvas é um fator crucial para a aceitação comercial e valorização dos frutos no mercado. A aparência visual, especialmente a intensidade e uniformidade da cor, influencia diretamente a percepção de qualidade pelos consumidores e, conseqüentemente, o preço que os produtores podem obter. Em regiões de baixa amplitude térmica, a obtenção de uma coloração adequada nas uvas apresenta um desafio significativo. Nessas áreas, a variação limitada entre as temperaturas diurnas e noturnas pode dificultar a síntese de antocianinas, os pigmentos responsáveis pela coloração das uvas. Isso pode resultar em frutos com cores menos vibrantes e uniformes, afetando negativamente sua atratividade comercial e competitividade no mercado. Por essa razão, estratégias como o uso de reguladores vegetais, como o ácido abscísico, são essenciais para melhorar a coloração das uvas em tais condições climáticas, promovendo uma produção de alta qualidade que atenda às exigências do mercado consumidor.

Os reguladores vegetais são substâncias sintéticas que mimetizam os efeitos dos hormônios naturais das plantas. Em baixas concentrações, esses compostos são capazes de controlar diversos aspectos do desenvolvimento e da fisiologia vegetal. O uso de reguladores vegetais na viticultura começou na década de 1950, e desde então, seu emprego tem sido crucial para melhorar a qualidade e a rentabilidade da produção de uvas. Entre os reguladores mais utilizados no Brasil estão a cianamida hidrogenada e o ácido giberélico, que são aplicados para promover a quebra de dormência e a uniformização da brotação após a poda, bem como para aumentar o tamanho das bagas por meio da divisão e alongamento celular.

Embora o uso comercial de reguladores vegetais ainda esteja em estudo para algumas aplicações, eles têm o potencial de controlar o crescimento vegetativo, aumentar a fertilidade de gemas, melhorar a fixação dos frutos, realizar o desbaste químico de cachos, suprimir sementes, retardar ou acelerar a maturação, prevenir injúrias pós-colheita, além de auxiliar na micropropagação e no enraizamento de estacas (WINKLER, 1995; PIRES; BOTELHO, 2001).

A comercialização e valorização das uvas no mercado dependem significativamente da qualidade visual do produto, sendo a coloração um dos principais critérios de avaliação. Uvas com coloração uniforme e intensa são preferidas pelos consumidores e alcançam preços mais altos no mercado. Portanto, o uso de ácido abscísico (ABA) para melhorar a coloração das uvas representa uma ferramenta valiosa para os produtores, possibilitando o aumento da competitividade e da rentabilidade da produção.

O ácido abscísico (ABA) é um fitohormônio essencial nas plantas, desempenhando papéis críticos em diversos processos fisiológicos. Foi identificado pela primeira vez na década de 1960 como um composto envolvido na abscisão de folhas, daí seu nome (TAIZ; ZEIGER, 2013). Quimicamente, o ABA é um sesquiterpenoide, um derivado dos carotenoides com uma estrutura composta por 15 átomos de carbono, incluindo um anel ciclopentenônico e uma cadeia lateral de isoprenoide (FAGAN et al., 2015). O ABA é conhecido por sua capacidade de mediar respostas ao estresse abiótico, como seca e salinidade, através do fechamento estomático, o que ajuda a planta a conservar água (YOSHIDA et al., 2014). Além disso, o ABA regula a dormência das sementes, germinação, e vários aspectos do crescimento e desenvolvimento vegetal (TAIZ; ZEIGER, 2013). Em vinhedos, o ABA desempenha um papel crucial na maturação das uvas, influenciando diretamente a síntese de pigmentos e compostos fenólicos, que são essenciais para a qualidade das uvas e do vinho (KOYAMA et al., 2014b). Este hormônio é, portanto, uma peça chave na interação entre a fisiologia vegetal e o manejo agrônomico, proporcionando uma ferramenta potencial para melhorar a qualidade e o valor comercial das uvas.

A coloração das uvas tintas é devida às antocianinas, pigmentos que também conferem cor a outras frutas, flores e hortaliças. O acúmulo de antocianinas na casca das uvas é regulado, ao menos em parte, pelo ácido abscísico. Aplicações exógenas de ABA têm se mostrado eficazes em aumentar a concentração de antocianinas, melhorando a uniformidade de coloração das uvas. Estudos recentes demonstraram a eficiência do ABA no aumento do acúmulo de antocianinas em diversas cultivares de uvas, como 'Benitaka' (ROBERTO et al., 2012), 'Crimson Seedless' (LEÃO et al., 2014), 'Isabel' (KOYAMA et al., 2014a, 2014b), 'Flame Seedless' (PEPPI; FIDELIBUS, 2008) e 'Rubi' (DOMINGUES NETO et al., 2017ab).

O ABA melhora a cor das uvas principalmente por meio da regulação do acúmulo de antocianinas na casca das bagas. As antocianinas são compostos flavonoides que conferem a cor vermelha, roxa e azul às uvas, sendo cruciais para a atratividade visual

e a qualidade percebida pelos consumidores. O ABA estimula a expressão de genes específicos envolvidos na via biossintética das antocianinas, como a chalcona sintase (CHS) e a dihidroflavonol 4-redutase (DFR), resultando em uma maior síntese desses pigmentos. Além disso, o ABA influencia a atividade de enzimas antioxidantes, que protegem as antocianinas da degradação oxidativa, contribuindo para uma coloração mais intensa e estável.

A aplicação exógena de ABA tem mostrado não apenas aumentar a concentração de antocianinas, mas também uniformizar a coloração entre diferentes bagas e cachos, um fator crucial para a consistência e a estética do produto final. Assim, o uso de ABA não só melhora a aparência das uvas, mas também agrega valor econômico ao produto, aumentando a competitividade dos produtores no mercado e satisfazendo as expectativas dos consumidores por frutas de alta qualidade (DOMINGUES NETO et al., 2021).

Este capítulo apresenta uma análise detalhada da biossíntese e do mecanismo de ação do ácido abscísico em uvas, com um foco especial nos efeitos fisiológicos que este regulador exerce sobre a coloração.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo sobre o ácido abscísico na coloração de uvas foi elaborado mediante levantamento de boletins técnicos, artigos científicos e livros que abordam os principais aspectos relacionados ao uso desse regulador na viticultura, como a síntese e o modo de ação e os principais efeitos fisiológicos. Após levantamento e compilação dos dados, sugeriu-se uma recomendação de seu uso para a viticultura tropical visando a uniformidade de coloração em uvas tintas.

BIOSSÍNTESE E METABOLISMO DO ABA

Ao longo dos anos, pesquisadores buscaram extrair e isolar compostos a partir de uma diversidade de tecidos vegetais. Utilizando cromatografia em papel para separar extratos vegetais de coleótilos de aveia, cientistas identificaram um grupo de compostos inibidores de crescimento, conhecidos como dormina, que posteriormente foram purificados a partir de folhas de falso-plátano coletadas no outono. Verificou-se que a dormina era idêntica à abscisina II, uma substância que promovia a abscisão de frutos do algodoeiro. Diante de diversas substâncias que apresentavam funções semelhantes nas plantas, em uma reunião mundial, os pesquisadores chegaram a um consenso, nomeando essas substâncias de ácido abscísico (ABA), em alusão ao seu suposto envolvimento no processo de abscisão (TAIZ; ZEIGER, 2013).

O ácido abscísico (ABA) é um terpeno de 15 carbonos (sesquiterpeno). A orientação do grupo carboxila no carbono 2 determina os isômeros cis (forma endógena) e trans

(inativa) do ABA. O ABA também apresenta um átomo de carbono assimétrico na posição 1' do anel, resultando nos enantiômeros S (forma endógena) e R (FAGAN et al., 2015).

O precursor do ABA é o isopentenil-difosfato (IPP), que também é o precursor da giberelina e citocinina. A síntese de ABA pode ocorrer em qualquer órgão ou tecido vivo, sendo que os precursores e as enzimas envolvidas nesta síntese são encontrados nos cloroplastos, cromoplastos, leucoplastos, amiloplastos e proplastídeos. Geralmente, a síntese ocorre em órgãos e tecidos adultos. Níveis elevados de ABA podem ser encontrados em órgãos e tecidos jovens devido ao transporte de ABA dos tecidos adultos para os jovens via floema (FAGAN et al., 2015).

Existem duas possíveis rotas para a síntese do ABA nos tecidos vegetais. A primeira rota, classificada como via direta, envolve o terpenoide de 15 carbonos farnesil-difosfato, que origina o ABA diretamente ou é convertido em um composto intermediário, xantoxina, que dará origem ao ABA. Essa via tem pouca importância em plantas vasculares (KERBAUY, 2012).

A segunda e mais importante rota é a via indireta, que utiliza carotenoides oxigenados (xantofilas) de 40 carbonos como precursores. Essa via é dividida em três etapas: a síntese de carotenoides não oxigenados nos plastídeos, a síntese e clivagem de xantofilas nos plastídeos, e a síntese do ABA no citosol (KERBAUY, 2012).

A biossíntese do ABA ocorre principalmente nos plastídeos das células vegetais, a partir do precursor carotenoide zeaxantina. O processo começa com a epoxidação da zeaxantina em violaxantina, catalisada pela enzima zeaxantina epoxidase (ZEP). A violaxantina é então convertida em ácido xantanóico por uma série de reações enzimáticas. Este ácido é posteriormente convertido em ABA por meio de clivagem oxidativa e outras modificações. A regulação da biossíntese do ABA é complexa e responde a diversos estímulos ambientais, como estresse hídrico, alta salinidade e baixas temperaturas. Por exemplo, durante condições de seca, a expressão de genes que codificam enzimas-chave na via biossintética do ABA é aumentada, resultando em maior produção do hormônio. Uma vez sintetizado, o ABA pode ser conjugado a glicose para formar ABA-glicósido, uma forma inativa que pode ser armazenada ou transportada dentro da planta. O ABA ativo também pode ser degradado pela ação da enzima ABA 8'-hidroxilase, que o converte em ácido dehidrofásico (PA), um composto biologicamente inativo. Esses processos de conjugação e degradação permitem à planta regular finamente os níveis de ABA em resposta a mudanças ambientais e necessidades fisiológicas (KERBAUY, 2012; TAIZ; ZEIGER, 2013; FAGAN et al., 2015).

O transporte do ABA pode ocorrer através do xilema (corrente de transpiração) ou floema (forma conjugada). Quando o ABA é sintetizado pelas raízes, ele se move para a parte aérea via xilema, regulando a perda de água via controle estomático. Esse transporte é considerado rápido, com velocidade de 24 a 36 mm/h, enquanto o transporte das auxinas é de 4 a 9 mm/h (FAGAN et al., 2015).

MECANISMO DE AÇÃO DO ABA

Os receptores de ABA estão localizados tanto na membrana plasmática quanto em membranas de outras organelas e podem estar presentes no citoplasma. Eles atuam na expressão de genes em resposta ao ABA e no controle da abertura e fechamento dos estômatos. Existem dois tipos de classificação baseados no tempo de resposta fisiológica das plantas ao ABA: a primeira inclui eventos de resposta de curta duração que envolvem alterações no fluxo de íons e no balanço hídrico, aumentando o conteúdo de ABA em minutos, como é o caso do fechamento estomático. A segunda envolve respostas de longa duração, como alterações profundas na expressão gênica, que podem levar horas ou dias para se manifestar (KERBAUY, 2012).

A ligação do ABA a uma proteína receptora na membrana plasmática promove a abertura dos canais de entrada de cálcio na planta, interferindo no fechamento dos estômatos. O ABA também pode ativar enzimas responsáveis por essa função (FAGAN et al., 2015).

A expressão gênica regulada pelo ABA beneficia a maturação de sementes, a aclimação das plantas a condições de estresse, baixas temperaturas e solos salinos (FAGAN et al., 2015).

Os mecanismos moleculares pelos quais o ácido abscísico influencia a coloração das uvas envolvem a ativação de vias de sinalização e expressão gênica específica. O ABA atua através de receptores de proteínas solúveis chamados PYR/PYL/RCAR, que, ao se ligarem ao ABA, inibem as fosfatases tipo 2C (PP2Cs). Isso libera proteínas quinases do tipo SNF1-related (SnRK2s), que são ativadas por fosforilação (FUJII; ZHU, 2009; YOSHIDA et al., 2014). Estas quinases então ativam fatores de transcrição, como ABF (ABA-responsive element-binding factors), que se ligam aos elementos de resposta ao ABA (ABRE) nos promotores de genes alvo (FUJII; ZHU, 2009; YOSHIDA et al., 2014). No contexto da coloração das uvas, o ABA induz a expressão de genes da via biossintética das antocianinas, como PAL (fenilalanina amônia-liase), CHS (chalcona sintase) e UFGT (UDP-glucose: flavonoid 3-O-glucosyltransferase). Esses genes codificam enzimas que catalisam as etapas-chave na produção de antocianinas (JEONG et al., 2010; GONZALEZ et al., 2008). Além disso, fatores de transcrição específicos, como MYB, bHLH e WD40, formam complexos reguladores que modulam a expressão dos genes de biossíntese de antocianinas em resposta ao ABA. A sinalização do ABA também é modulada por fatores ambientais como luz e temperatura, que podem amplificar ou atenuar a resposta hormonal, resultando em variações na intensidade e uniformidade da coloração das uvas (TOH et al., 2008; SHARMA; LAXMI, 2016).

O PAPEL DO ABA NA FISILOGIA DAS UVAS

O ácido abscísico (ABA) desempenha um papel central na fisiologia das uvas, particularmente durante o processo de maturação dos frutos. Durante a fase de mudança de cor das uvas, conhecida como *véraison*, os níveis de ABA aumentam significativamente, promovendo a síntese de antocianinas, os pigmentos responsáveis pela coloração vermelha, roxa e azul das uvas (FUJII; ZHU, 2009; YOSHIDA et al., 2014).

O ABA tem sido amplamente estudado por seus efeitos na coloração das uvas, especialmente em variedades como 'Rubi', 'Isabel' e 'Niagara Rosada' (KOYAMA et al., 2014ab; DOMINGUES NETO et al., 2017ab; TECCHIO et al., 2017). A aplicação exógena de ABA pode aumentar significativamente a concentração de antocianinas na casca das uvas, melhorando a coloração e a qualidade do fruto.

As antocianinas são flavonoides que não apenas conferem cor, mas também possuem propriedades antioxidantes importantes para a saúde humana (JEONG et al., 2010; GONZALEZ et al., 2008). Além de influenciar a coloração, o ABA regula a acumulação de açúcares, a degradação de clorofila e a suavização da textura dos frutos, que são essenciais para a qualidade dos sucos e vinhos (FAGAN et al., 2015). O ABA também modula a expressão de genes envolvidos na modificação da parede celular, facilitando a maciez da fruta e melhorando suas características sensoriais (FAGAN et al., 2015).

Em conjunto com outros hormônios vegetais, como etileno e auxinas, o ABA coordena um complexo balanço hormonal que regula o desenvolvimento e a maturação das uvas (TOH, et al., 2008; SHARMA; LAXMI, 2016). O entendimento desses processos fisiológicos permite aos viticultores manipular o ambiente de cultivo e as práticas de manejo para otimizar a qualidade e a coloração das uvas (TAIZ; ZEIGER, 2013).

A principal fase fenológica em que o ácido abscísico (ABA) está intimamente relacionado é a fase de maturação, que pode durar de 20 a 50 dias, dependendo da cultivar. Ao contrário dos hormônios promotores do crescimento (auxinas, giberelinas e citocininas), o ABA atua na fase final da curva de crescimento da baga, iniciando seu papel no período de acúmulo de antocianinas na casca. O ABA inibe o processo mitótico, transformando a baga em um órgão maduro e de acúmulo (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Após a mudança de coloração, o ABA das folhas e sementes migra para a casca da baga, sendo a casca também um local de síntese deste hormônio, gerando um acúmulo de glicídios. Na fase final de maturação, o ABA está presente na casca, caracterizando a maturação plena. Outra função importante do ABA nas bagas é impedir a redistribuição dos açúcares acumulados para outros órgãos da planta, pois ativa a enzima invertase, responsável pelo transporte ativo de açúcares e pela hidrólise de sacarose na região do pedicelo (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Outro efeito importante do ABA na viticultura é a coloração das bagas e o acúmulo de antocianinas. Alguns estudos também evidenciaram aumentos nos teores de sólidos

solúveis e redução da acidez, elevando a relação sólidos solúveis/acidez, resultando em uvas com sabores mais equilibrados (DOMINGUES NETO et al., 2017ab). Há também um aumento nas concentrações de compostos fenólicos.

Além desses benefícios, a aplicação de ABA também proporciona efeitos positivos na conservação pós-colheita das uvas. Um estudo de conservação pós-colheita das uvas 'Rubi' tratadas com ABA indicou que a aplicação de ABA reduziu a perda de massa, a incidência de degrana das bagas e a incidência de podridão durante o período de conservação. Esses efeitos prolongam o tempo de comercialização das uvas, permitindo que cheguem ao mercado em melhores condições (DOMINGUES NETO et al., 2017c).

Além disso, há efeitos positivos nos sucos e vinhos, principalmente no aumento das concentrações de antocianinas e compostos fenólicos.

Quanto aos teores de sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT) e relação SS/AT, alguns estudos mostraram melhorias nesses atributos. Por exemplo, Koyama et al. (2014b) observaram maiores teores de SS e relação SS/AT e menor AT na uva 'Isabel', principalmente com a concentração de 400 mg L⁻¹, independente da época de aplicação. Para a uva 'Kyoho', a aplicação exógena de ABA também proporcionou aumento no teor de SS (CAO et al., 2010). No entanto, vários autores relataram que a aplicação de ABA teve pouco ou nenhum efeito sobre os SS ou a AT das uvas (HAN et al., 1996; LEE et al., 1997; JEONG et al., 2004; PEPPI et al., 2006). Vale destacar que a relação SS/AT está relacionada ao sabor do fruto; quanto maior ela for, mais agradável será o sabor (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Nesse contexto, pode-se dizer que o ABA proporciona frutos com melhor sabor, evidenciado pelo maior valor dessa relação.

Para a concentração de antocianinas, pigmento ligado diretamente à coloração das bagas, verifica-se uma gama de resultados para as diferentes cultivares de uvas e suco. Para a uva 'Isabel', Koyama et al. (2014b) verificaram que esse regulador elevou as concentrações de antocianinas tanto nas bagas quanto no suco. O ácido abscísico também elevou a concentração de antocianinas das uvas 'Kyoho' (CAO, et al., 2010), 'Cabernet Sauvignon' (JEONG, et al., 2004), 'Pionnier' (KONDO, et al., 1998), 'Flame Seedless' (PEPPI; FIDELIBUS, 2008) e 'Rubi' (DOMINGUES NETO et al., 2017ab).

Quanto aos atributos de cor das bagas, verifica-se que o ácido abscísico promove resultados excepcionais, evidenciados pelos menores valores de luminosidade e saturação e pelos maiores valores do índice de cor. Isso indica que as bagas tratadas com esse regulador apresentam uma coloração mais escura. Tal efeito foi observado nas uvas 'Isabel' (KOYAMA et al., 2014b), 'Red Globe' (PEPPI et al., 2007), 'Flame Seedless' (PEPPI; FIDELIBUS, 2008), 'Crimson Seedless' (PEPPI et al., 2008), 'Alachua' e 'Noble' (SANDHU et al., 2011) e 'Rubi' (DOMINGUES NETO et al., 2017ab).

A aplicação de ácido abscísico (ABA) em uvas promove um aumento significativo na concentração de compostos fenólicos. Este efeito está relacionado ao papel do ABA na biossíntese desses compostos, similar ao seu impacto na produção de antocianinas. O ABA

atua como corregulador das enzimas leucoantocianidina redutase (LAR) e antocianidina redutase (ANR), responsáveis pela formação de (+)-catequinas e (-)-epicatequinas nas uvas (LACAMPAGNE, et al. 2010). Os tratamentos que proporcionam melhor cor às bagas das uvas também apresentam maiores valores de compostos fenólicos, mostrando que quanto mais intensa a cor das bagas, maior o conteúdo de compostos fenólicos, tornando a uva mais interessante para o consumo por apresentar característica funcional.

A perda de massa durante o período de conservação das uvas é significativamente influenciada pela aplicação de ácido abscísico (ABA) (DOMINGUES NETO et al, 2017c). Esta perda de massa, um dos fatores limitantes à vida útil dos produtos hortícolas, está diretamente relacionada à perda de água, que é a principal causa de deterioração. A perda de água não só resulta em perdas quantitativas, mas também afeta a aparência das uvas, causando murchamento e enrugamento das bagas, além de prejudicar a textura e a qualidade nutricional (CARVALHO, 2000; VILAS BOAS, 2000). No caso da uva 'Crimson Seedless', a menor perda de massa foi observada em cachos que tiveram a irrigação interrompida durante a maturação e foram tratados com 0,04 g de ABA por 100 g de fruto, divididos em duas aplicações equivalentes: a primeira no início do amolecimento da baga e a segunda 15 dias antes da colheita (SILVA et al., 2011).

A literatura apresenta uma gama de resultados para diferentes cultivares de uvas, tanto para mesa quanto para processamento, em relação às melhores concentrações e épocas de aplicação do ácido abscísico (ABA). De modo geral, as concentrações mais utilizadas são de 100, 200, 300 e 400 mg L⁻¹, com as aplicações iniciando no começo da maturação das bagas, e uma segunda aplicação entre 15 e 25 dias após a primeira. Destaca-se que os melhores resultados têm sido observados com concentrações de 200 e 400 mg L⁻¹ em duas aplicações (DOMINGUES NETO et al, 2017ab).

A utilização de ABA promove melhorias na concentração de antocianinas e compostos fenólicos nas bagas e no suco das uvas. Além disso, aumenta os teores de sólidos solúveis (SS), melhora a relação SS/acidez titulável (AT) e reduz a acidez. Dessa forma, o uso do ABA é uma alternativa promissora, que aumenta o valor comercial do produto, proporcionando uvas e sucos com coloração mais intensa, sem a necessidade de ser misturado com suco de cultivares tintureiras.

APLICAÇÕES PRÁTICAS DO ABA NA VITICULTURA

Na prática, a aplicação exógena de ABA é utilizada para melhorar a coloração das uvas, especialmente em cultivares de uvas tintas. A técnica mais comum envolve a pulverização foliar de soluções de ABA durante a fase de *véraison*. Estudos mostram que concentrações de 200 a 400 ppm são eficazes para aumentar a síntese de antocianinas e melhorar a uniformidade da coloração (KOYAMA et al., 2014ab; DOMINGUES NETO et al., 2017ab). A aplicação de ABA também pode influenciar outros aspectos da qualidade das

uvas, como o aumento dos níveis de compostos fenólicos e a melhoria das propriedades antioxidantes (KOYAMA et al., 2014ab; DOMINGUES NETO et al., 2017ab). No entanto, a eficácia da aplicação de ABA pode variar com base em fatores como a cultivar da uva, as condições climáticas e o manejo agrônomo. É importante considerar a sincronização da aplicação para maximizar os benefícios sem comprometer a saúde das plantas. Por exemplo, aplicar ABA muito cedo ou muito tarde na temporada pode resultar em respostas subótimas. Além disso, técnicas de manejo como poda e irrigação também podem interagir com a aplicação de ABA, influenciando a eficácia do tratamento. Ensaio de campo e estudos controlados são essenciais para determinar as melhores práticas de aplicação de ABA em diferentes condições de cultivo.

DESAFIOS E CONSIDERAÇÕES NO USO DO ABA

Embora o uso de ABA exógeno tenha demonstrado benefícios significativos na melhoria da coloração das uvas, vários desafios e considerações precisam ser abordados. Um dos principais desafios é o custo do ABA, que pode ser alto. No entanto, a aplicação de ABA tem se mostrado economicamente viável, especialmente em cultivos de alto valor agregado, como as uvas 'Rubi'. Estudos demonstram que o tratamento com ABA pode aumentar significativamente o preço de venda das uvas devido à melhoria na coloração, um atributo crucial para a comercialização (DOMINGUES NETO et al., 2021).

Por exemplo, um estudo realizado no município de São Miguel Arcanjo, uma das principais regiões produtoras de uva do estado de São Paulo, avaliou a viabilidade econômica da aplicação de ABA em uvas 'Rubi'. O estudo mostrou que a aplicação de ABA resultou em um incremento de US\$ 0,15 por quilograma no preço de venda das uvas, representando um aumento de 16,66 % no valor comercial. Isso é especialmente relevante em regiões de baixa amplitude térmica, onde a coloração característica das uvas pode não ser alcançada sem a aplicação do regulador (DOMINGUES NETO et al., 2017ab).

Além disso, a análise de custo operacional total (COT) revelou que, embora a produção de uvas com tratamento de ABA tenha um custo 26,12 % superior à produção sem tratamento, o aumento na coloração uniforme das uvas resultou em uma maior competitividade no mercado. A margem bruta das uvas tratadas com ABA foi superior à das uvas não tratadas, e o ponto de equilíbrio, ou a quantidade de uvas necessária para cobrir os custos de produção, foi alcançado com uma quantidade ligeiramente maior de uvas tratadas, mas com um lucro operacional maior (DOMINGUES NETO et al., 2021).

A aplicação de ABA também proporcionou um aumento significativo na acumulação de antocianinas, os pigmentos responsáveis pela coloração das uvas, o que melhora ainda mais a aparência e a atratividade do produto final. Este fator é crucial, pois a cor das uvas é um dos principais atributos que determinam seu preço no mercado. Em resumo, a aplicação de ABA é uma estratégia viável e lucrativa para produtores que buscam melhorar

a qualidade e a competitividade de suas uvas, justificando assim o investimento inicial no regulador de crescimento (DOMINGUES NETO et al., 2021).

Outro desafio é a variabilidade na resposta das plantas ao ABA, que pode ser influenciada por fatores genéticos e ambientais. Diferentes cultivares de uvas podem responder de maneiras distintas à aplicação de ABA, e as condições climáticas como temperatura e umidade podem afetar a eficácia do tratamento. Além disso, o uso de ABA deve ser cuidadosamente gerenciado para evitar impactos ambientais adversos, como a contaminação de corpos d'água adjacentes. Regulamentações sobre o uso de hormônios em culturas comerciais também devem ser consideradas, e os produtores devem estar cientes das diretrizes locais e internacionais. Ensaio preliminares são recomendados para determinar as dosagens e as épocas ótimas para cada situação específica, minimizando riscos e maximizando os benefícios.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A compreensão dos mecanismos de ação do ABA pode ser utilizada para melhorar a qualidade e o valor comercial das uvas. A aplicação prática de ABA, quando bem gerenciada, pode resultar em frutos de alta qualidade com coloração intensa e uniforme, o que é altamente desejável tanto para consumo *in natura* quanto para a produção de sucos e vinhos de alta qualidade. Além disso, as inovações em tecnologias de aplicação e a pesquisa contínua em biotecnologia vegetal oferecem novas oportunidades para explorar o potencial do ABA na viticultura.

Com base no exposto, pode-se enfatizar que o ácido abscísico propicia excelentes resultados nas uvas, melhorando, principalmente a uniformidade de coloração das bagas, o que representa uma alternativa para o aumento dos ganhos, ao passo que as uvas com melhor cor são mais valorizadas.

REFERÊNCIAS

ANUÁRIO DA AGRICULTURA BRASILEIRA. **UVA**: produção brasileira. São Paulo, p. 464, 2022.

CAO, M.; BAI, X.; LI, Y.; XIE, T.; WEN, R.; LIU, J. Effect of abscisic acid on the color and fruit quality of Kyoho grape. **Guangdong Agricultural Sciences**, Guiyang, v. 2, n. 39, p. 111-113, 2010.

CARVALHO, A. V. **Avaliação da qualidade de kiwis cv. "Haryward", minimamente processados**. 2000. 86f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2000.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005. 785 p.

DOMINGUES NETO, F. J.; TECCHIO, M. A.; PIMENTEL JUNIOR, A.; VEDOATO, B. T. F.; LIMA, G. P. P.; ROBERTO, S. R. Effect of ABA on colour of berries and in the anthocyanin accumulation and total phenolic compounds of 'Rubi' table grape (*Vitis vinifera*). **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, p. 199-205, 2017a.

DOMINGUES NETO, F. J.; PIMENTEL JUNIOR, A.; CALLILI, D.; CUNHA, S. R.; PUTTI, F. F.; LIMA, G. P. P.; ROBERTO, S. R.; TECCHIO, M. A. Post-harvest conservation of 'Rubi' grapes treated with abscisic acid. **African Journal of Biotechnology**, v. 16, p. 1758-1763, 2017b.

DOMINGUES NETO, F. J.; PIMENTEL JUNIOR, A.; BORGES, C. V.; CUNHA, S. R.; CALLILI, D.; LIMA, G. P. P.; ROBERTO, S. R.; LEONEL, S.; TECCHIO, M. A. The exogenous application of abscisic acid induce accumulation of anthocyanins and phenolic compounds of the 'Rubi' grape. **American Journal of Plant Sciences**, v. 8, p. 2422-2432, 2017c.

DOMINGUES NETO, F. J.; NACHILUK, K.; FAGUNDES, P. R. S.; TECCHIO, M. A. Economic feasibility of abscisic acid application to uniform 'Rubi' grapes coloration. **Australian Journal of Crop Science**, v. 15, p. 209-214, 2021.

FAGAN, E. B.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D.; CHALFUN JUNIOR, A.; DOURADO NETO, D. **Fisiologia vegetal: reguladores vegetais**. Andrei, 300 p., 2015.

FUJII, H.; ZHU, J. K. Arabidopsis mutant deficient in 3 abscisic acid-activated protein kinases reveals critical roles in growth, reproduction, and stress. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 106, p. 8380-8385, 2009.

GONZALEZ, A.; ZHAO, M.; LEAVITT, J. M.; LLOYD, A. M. Regulation of the anthocyanin biosynthetic pathway by the TTG1/bHLH/Myb transcriptional complex in Arabidopsis seedlings. **The Plant Journal**, v. 53, p. 814-827. 2008.

HAN, D. H.; LEE, S. M.; KIM, S. B. Effects of ABA and ethephon treatments on coloration and fruit quality in Kyoho grape. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 37, n. 3, p. 416-420, 1996.

JEONG, S. T.; UOTO, N. G.; KOBAYASHI, S.; ESAKA, M. Effects of plant hormones and shading on the accumulation of an- and the expression of anthocyanin biosynthetic genes in berry skins. **Plant Science**, London, v. 167, n. 2, p. 247-252, 2004.

JEONG, S. W.; DAS, P. K.; JEOUNG, S. C.; SONG, J. Y.; LEE, H. K.; KIM, Y. K.; CHOI, S. B. Ethylene suppression of sugar-induced anthocyanin pigmentation in Arabidopsis. **Plant Physiology**, v. 154, p. 1514-1531, 2010.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. 2.ed. [Reimpr.]. Rio de Janeiro, Guanagbara Koogan, 2012. 431p.

KONDO, S.; MASUDA, E.; INOUE, K. Relation between ABA application and fruit quality of 'Pionnier' grape (*Vitis sp.*). **Acta Horticulturae**, Wageningen, v. 464, n. 130, p. 35-40, 1998.

KOYAMA, R.; YAMAMOTO, L. Y.; BORGES, W. F. S.; PASCHOLATI, M. B.; BORGES, R. S.; ASSIS, A. M. ROBERTO, S. R. Épocas de aplicação e concentrações de ácido abscísico no incremento da cor da uva 'Isabel'. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 4, p. 1697-1706, jul./ago. 2014a.

KOYAMA, R.; ASSIS, A. M. D.; YAMAMOTO, L. Y.; BORGES, W. F. S.; PRUDENCIO, S. H.; ROBERTO, S. R. Exogenous abscisic acid increases the anthocyanin concentration of berry and juice from 'Isabel' grapes (*Vitis labrusca* L.). **HortScience**, Alexandria, v. 49, p. 460-464, 2014b.

LACAMPAGNE, S.; GAGNÉ, S.; GÉNY, L. Involvement of Abscisic Acid in Controlling the Proanthocyanidin Biosynthesis Pathway in Grape Skin: New Elements Regarding the Regulation of Tannin Composition and Leucoanthocyanidin Reductase (LAR) and Anthocyanidin Reductase (ANR) Activities and Expression. **Journal Plant Growth Regulation**, New York, v.28, p.81-90, 2010.

LEE, K. S.; LEE, J. C.; HWANG, Y. S.; HUR, I. B. Effects of natural type (S)-(+)- abscisic acid on anthocyanin accumulation and maturity in 'Kyoho' grapes. **Korean Journal of Horticultural Science & Technology**, Suwon, v. 38, n. 6, p. 717-721, 1997.

LEÃO, P. C. S.; LIMA, M. A. C.; COSTA, J. P. D.; TRINDADE, D. C. G. Abscisic Acid and Ethephon for Improving Red Color and Quality of Crimson Seedless Grapes Grown in a Tropical Region. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 66, n.1, p.37-45, 2014.

MAIA, J. D. G.; CAMARGO, U. A. **O cultivo de videira Niagara no Brasil**. Brasília, DF, Embrapa, 2012. 301p.

PEPPI, M. C.; FIDELIBUS, M. W.; DOKOOZLIAN, N. Abscisic acid application timing and concentration affect firmness, pigmentation and color of 'Flame Seedless' grapes. **HortScience**, Alexandria, v. 41, n. 4, p. 1449- 1445, 2006.

PEPPI, M. C.; FIDELIBUS, M. W.; DOKOOZLIAN, N. Application timing and concentration of abscisic acid affect the quality of 'Redglobe' grapes. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, United Kingdom, v. 82, n. 2, p. 304-310, 2007.

PEPPI, M. C.; FIDELIBUS, M. W.; DOKOOZLIAN, N. Timing and concentration of abscisic acid applications affect the quality of 'Crimson Seedless' grapes. **International Journal of Fruit Science**, Binghamton, v. 7, n. 4, p. 71-83, 2008.

PEPPI, M. C.; FIDELIBUS, M. W. Effects of forchlorfenuron and abscisic acid on the quality of 'Flame Seedless' grapes. **HortScience**, Alexandria, v. 43, p. 173-176, 2008.

PIRES, E. J. P.; BOTELHO, R. V.; Uso de reguladores vegetais na cultura da videira. In: BOLIANI, A. C.; CORRÊA, L. S. **Cultura de uvas de mesa: do plantio à comercialização**. Piracicaba: Algraf, p. 129-148, 2001.

ROBERTO, S. R.; ASSIS, A. M.; YAMAMOTO, L. Y.; MIOTTO, L. C. V.; SATO, A. J.; KOYAMA, R.; GENTA, W. Application timing and concentration of abscisic acid improve color of 'Benitaka' table grape. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 142, p. 44-48, 2012.

SANDHU, A. K.; GRAY, D. J.; LU, J.; GU, L. Effects of exogenous abscisic acid on antioxidant capacities, anthocyanins and flavonol contents of muscadine grape (*Vitis rotundifolia*) skins. **Food Chemistry**, London, v. 126, p. 982-988, 2011.

SHARMA, M.; LAXMI, A. Jasmonates: emerging players in controlling temperature stress tolerance. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, p. 1129, 2016.

SILVA, E. E. L. S.; LIMA, M. A. C.; LEÃO, P. C. S.; ARAÚJO, A. L. S.; TRINDADE, D. C. G.; ROSATTI, S. R. Conservação pós-colheita da uva 'Crimson Seedless' sob influência da aplicação de reguladores de crescimento e restrição hídrica. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA SEMIÁRIDO, 2011, Petrolina. **Anais...** Petrolina: Embrapa Semiárido, 2011.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5.ed. Porto Alegre, Artmed, 2013. 918p.

TECCHIO, M. A.; DOMINGUES NETO, F. J.; PIMENTEL JUNIOR, A.; SILVA, M. J. R.; ROBERTO, S. R.; SMARSI, R. C. Improvement of color and increase in anthocyanin content of 'Niagara Rosada' grapes with application of abscisic acid. **African Journal of Biotechnology**, v. 16, p. 1400-1403, 2017.

TOH, S.; MCCOURT, P.; TSUCHIYA, Y. HY5 is involved in strigolactone-induced germination of seeds through the modulation of ABA signaling. **The Plant Journal**, v. 56, p. 519-529, 2008

VILAS BOAS, E. V. B. **Perdas pós-colheita**. Lavras: UFLA/FAEPE, 64 p., 2000.

WINKLER, A. J. **General Viticulture**. Berkeley: University of California Press, 633 p. 1965.

YOSHIDA, T.; MOGAMI, J.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K. ABA-dependent and ABA-independent signaling in response to osmotic stress in plants. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 21, p. 133-139, 2014.

AVALIAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO VOLUMÉTRICA DE GOTAS COM DIFERENTE TIPOS PONTAS DE PULVERIZAÇÃO EM AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS

Data de aceite: 01/08/2024

Klayson Burjack Nunes

Danilo Ribeiro Barbacena

Joana Darque Vieira da Silva

RESUMO: Dentre as tecnologias para o aumento da produtividade alimentícia, destaca-se o uso de Aeronaves remotamente pilotadas –(RPA's) , já que o pacote de sensores embarcados em RPA'S para o monitoramento das culturas agrícolas e regiões produtoras tem crescido ao longo dos últimos anos, além do uso para pulverização agrícola. Diante disso, esse trabalho objetivou avaliar a distribuição volumétrica de gotas com diferente tipos pontas de pulverização em aeronaves remotamente pilotadas. Para tanto foi realizado em experimento na unidade de CRIA GDM-Porto Nacional, sendo os tratamentos foram 2 tipos de bicos pulverizador (original e antideriva) e 2 velocidades de voo (14 e 19km/h) com 4 repetições, totalizando assim um delineamento de 2x2x4, totalizando 16 parcelas experimentais. O voo foi realizado em uma altura de 3,10m. Com o veículo aéreo não tripulado DJI AGRAS T20.

Os dados coletados foram submetidos a análise de variância e teste de f e as médias comparadas pelo teste de tukey a nível de 5% de probabilidade. Pode-se concluir que para o bico antideriva apresentou uma melhor largura de faixa que o bico original, independente da velocidade. Também que para o número de gotas e para a densidade de gotas o bico original na maior velocidade testada e o antideriva na menor velocidade, apresenta melhores resultados, indicado assim principalmente para produtos de contato. Não houve efeito das velocidades e bicos testados para cobertura, taxa de aplicação e dispersão, ao contrário da importância descrita e demonstrada em outros trabalhos.

PALAVRAS-CHAVE: Volume; Aplicação; Fitossanidade; drones

ABSTRACT: Among the technologies for increasing food productivity, the use of remotely piloted aircrafts (RPA's) stands out, since the package of sensors on board RPA's for monitoring agricultural crops and producing regions has grown over the past few years, besides the use for agricultural spraying. Therefore, this work aimed to evaluate the volumetric distribution of drops with different types of spray tips on remotely

piloted aircraft. To this end, an experiment was conducted in the town of Aparecida do Rio Negro, and the treatments were two types of spray nozzles (original and antiderivative) and two flight speeds (14 and 19 km / h) with 4 repetitions, thus totaling a 2x2x4 design, totaling 16 experimental plots. The flight was conducted at a height of 3.10m. With the unmanned aerial vehicle DJI AGRAS T20. The collected data were submitted to variance analysis and f-test and the means were compared by the tukey test at 5% probability level. It can be concluded that the antidrip nozzle showed a better swath width than the original nozzle, regardless of speed. Also, for the number of drops and the drop density, the original nozzle at the highest speed tested, and the anti drift nozzle at the lowest speed, presented better results, thus indicated mainly for contact products. There was no effect of the tested speeds and nozzles for coverage, application rate, and dispersion, contrary to the importance described and demonstrated in other works.

KEYWORDS: Volume; Application; Application; Plant Protection; drones

INTRODUÇÃO

O aumento populacional levou a uma crescente demanda alimentícia, o que consequentemente fez com os produtores buscassem o aumento das produtividades das culturas agrícolas nos últimos anos. Este crescimento foi possível devido ao melhor uso de insumos, pesquisas em melhoramento genético, investimento em tecnologias, levando o Brasil ao posto de celeiro do mundo (FIESP, 2021). Dentre essas tecnologias, destaca-se o uso de Aeronaves remotamente pilotadas –(RPA's) , já que o pacote de sensores embarcados em RPA'S para o monitoramento das culturas agrícolas e regiões produtoras tem crescido ao longo dos últimos anos, além do uso para pulverização agrícola (HUNT, DAUGHTRY, 2018).

O interesse em novas tecnologias como o drone tem crescido muito ao redor do mundo. Esse aumento no desenvolvimento de drones é devido os avanços tecnológicos computacionais, desenvolvimento de novos softwares, materiais mais leves para sua fabricação, os sistemas globais de, avançados de links de dados, sofisticados sensores e a miniaturização (SILVA, 2021). As RPA-S na pulverização é considerada uma boa alternativa principalmente em locais de difícil acesso, diminui o risco de intoxicação, logo usando essas aeronaves é possível minimizar os riscos ambientais e da saúde humana nessa prática; além disso a utilização dessas aeronaves podem acelerar o incremento do pacote tecnológico a campo e facilitar o trabalho com o emprego de automação. (CHEN et al., 2020; KARTAL et al., 2020).

O desenvolvimento de drones surgiu como uma importante opção na AP. A aplicação dos mesmos em áreas agrícolas e em missões de reconhecimento vem se tornando facilitada devido o atual estágio de desenvolvimento tecnológico, além de serem relativamente baratos, possuírem tamanho pequeno e pela necessidade de otimização da produção(OLIVEIRA E SILVA, 2020).Uma correta tecnologia de aplicação de agrotóxicos visa colocar a quantidade certa de ingrediente ativo no alvo, com a máxima eficiência e da maneira mais econômica possível, minimizando impactos ao ambiente (MATTHEWS, 2002).

Em trabalhos de Wang (2020) usou um RPA com georreferenciamento sendo que a qualidade da aplicação em relação a um avião tripulado foi maior, já que houve menor taxa de deriva, menor consumo de água e aplicação de forma mais localizada que possibilita economia de defensivos agrícolas. Já em trabalhos de Martinez-Guanter et al., (2019) comparando a tecnologia de RPA's com um pulverizador de arrasto notou uma mesma eficiência de tamanho de gota e de cobertura foliar em pulverização de oliveira e citrus, porém destaca-se a menor deriva e ausência de compactação de solo com aeronave remotamente pilotada.

Com o intuito de reduzir a deriva de gotas de herbicidas não seletivos, recomendam-se pontas de pulverização com indução de ar para aplicações de herbicidas sistêmicos em pós emergência. Essas pontas também são recomendadas para qualquer herbicida aplicado diretamente ao solo e em pré-emergência (VIANA, 2007).

OBJETIVOS

Objetivo geral

Avaliar a distribuição volumétrica de gotas com diferente tipos pontas de pulverização em aeronaves remotamente pilotadas.

Objetivos Específicos

- Verificar a faixa de aplicação pelo software usado pela fabricante do RPA é realmente verídico.
- Avaliar a distribuição volumétrica sob diferentes pontas de pulverização em RPA'S.
- Descrever a volumetria sob diferentes velocidades em RPA'S

PROBLEMA

As novas tecnologias estão incrementando o monitoramento das áreas agrícolas, diante disso o desafio está em aumentar a eficiência dos sistemas produtivos, através da utilização de insumos e produtos de forma mais detalhada e preciso. Além disso essa precisão necessita ser mantida independentemente da escala de produção (KARTAL et al., 2020).

O problema dessa pesquisa consiste na necessidade de ampla análise das culturas por imagem para formação de um banco de dados que permita o desenvolvimento de um trabalho de agronomia utilizando drones de imageamento. Como não há série histórica considerando a aplicação dessa ferramenta para a maior parte das culturas existem poucos dados disponíveis, isso se agrava pelo fato de existirem poucas empresas atuando na área e não haver interesse na divulgação dos seus bancos de dados;

Além disso interpretações erradas da tecnologia, levam muitos produtores a não enxergar as RPA's como uma ferramenta, mas sim como solução completa, causando uma quebra de expectativa que contribui para o descrédito da tecnologia. Soma-se a falta de integração entre agentes da cadeia do agronegócio projetistas, agrônomos e produtores.

O uso da automação na agricultura pode ser uma alternativa para otimizar o trabalho principalmente em locais de difícil acesso, como já comentado anteriormente. Entretanto, a tecnologia ainda apresenta problemas de autonomia, deficiência operacional e problemas de usabilidade (ADAMIDES, 2020).

Por isso existem limitações dessa ferramenta devido à capacidade de bateria e em sua maioria tem capacidade máxima de voo que varia de 15 a 30 minutos. A prestação desse serviços deveria ser focada em operação de catação, identificando onde haja uma ocorrência e realizando operações localizadas. Não deve ser útil para aplicar em todo o terreno, a não ser em áreas muito adensadas, como as de café, ou em área de morro, com declive”, avalia o pesquisador.

Falta de estudo na parte tecnologia de aplicação como tipo de bico para cada aplicação ou produto, mensuração de deriva de acordo cada situação, e condições ambientais fatores com vento umidade, temperatura. O número de profissionais qualificados e baixo. A aplicação incorreta de defensivos agrícolas é sinônimo de prejuízo, pois além de gerar desperdício e deriva, aumenta consideravelmente os riscos de contaminação em pessoas e no meio ambiente.

JUSTIFICATIVA

O estudo é de importância pelo fato de haver poucas informações sobre criação de um protocolo de pulverização via drone para auxiliar na uniformização dos tipos de tratamento para determinados diagnósticos, assim organizando e facilitando a tomada de decisões. Ademais impedir que em futuras aplicações ocorram problemas, com deriva ou ineficiência da aplicação. Por meio do resultado atingido com a ferramenta o produtor ganhara tempo nas tomadas de decisões erradicando o problema ainda no começo.

É possível diminuir, pois evitará desperdício de produto, já terá consciência de sobreposição da área aplicada, e a utilização do bico com a maior eficiência também vai precisar gastar comprando outros modelos de bicos diminuindo o custo pois tem um valor alto. Além do amassamento das plantas provocado pelo rodado do trator e da compactação causado ao solo.

Dessa maneira, não terá perdas de outras culturas plantadas próxima a aplicação, com a consciência do raio de alcance da deriva e possível controlar esse fator que tem grande impacto nas pulverizações. Dentre os benefícios do uso dessa tecnologia está, redução de mão de obra no campo e mais eficiência e eficácia no processo de pulverização.

Pesquisas na área de automação das práticas agrícolas são de extrema importância para o entendimento, contribuição e desenvolvimento da tecnologia, e para a melhoria dos

processos e técnicas que evitam problemas que podem causar perdas de produtividade das culturas e prejuízos para os agricultores. É importante destacar que não foram encontradas pesquisas abordando todas as aplicações de VANT no mesmo estudo (Anziliero, 2021)

HIPÓTESE

- A menor velocidade testada será melhor que a maior testada
- O bico antideriva será superior ao original.

REFERENCIAL TEÓRICO

Agricultura no Brasil

A agricultura brasileira era rudimentar em meados do século passado. Prevalia o trabalho braçal na produção agropecuária. Naquela época, menos de 2% das propriedades rurais contavam com máquinas agrícolas. Homens e mulheres do campo sofriam com escassez de tecnologia e de informação. O crescimento da agricultura exigia que extensas áreas naturais fossem convertidas em lavouras e pastagens. Práticas inadequadas causaram severos impactos ambientais, como erosão e assoreamento. Mas as fazendas não produziam o suficiente para atender à demanda interna, a trajetória recente da agricultura brasileira é resultado de uma combinação de fatores (EMBRAPA, 2018).

Embora a origem da diversificação, a agropecuária brasileira não apresentava muita novidade em meados do século antigo. Prevalia o serviço braçal. Naquela estação, menos de 2% das propriedades rurais contavam simultaneamente com poucas máquinas agrícolas, faltavam conhecimentos sobre solos e variedades, eram escassas as recomendações de manejos e as tecnologias da comunicação eram quase desconhecidas no campo. O efeito era o insignificante lucro por hectare e pequena manufatura, que passou a ser escasso para acolher à procura interna, num tempo de industrialização e acréscimo populacional. O agronegócio no Brasil iniciou uma época de modernização entre 1960 e 1970.

O bom desempenho do setor está, a propósito, diretamente ligado às suas exportações. Para se entender tal assertiva, deve-se considerar os seguintes cenários: a alta dos preços internacionais das commodities, predominantes na pauta de exportações brasileiras, em função do aumento da demanda mundial por alimentos, e a forte desvalorização do Real frente ao dólar. Ambos os fatores fazem das exportações o “caminho dos tijolos amarelos” para a produção agropecuária, pois seus produtos estão mais valorizados e seus preços, em dólar, mais competitivos (CEPEA, 2021).

A produção interna de tratores no Brasil só se iniciou no ano de 1959, com a instalação da Ford. Antes desse ano, os tratores usados eram todos importados. O uso de fertilizantes artificiais e agrotóxicos também se acentuou a partir da década de 1960, com índices bastante elevados (TEIXEIRA, 2005).

Nos últimos anos a pesquisa brasileira tem alertado para a importância de se ampliar a produtividade, não só para gerar uma rentabilidade maior por hectare, mas também porque a oferta de novas áreas começa a chegar no limite. As áreas com pastagens degradadas ainda apontam uma opção para a agricultura avançar em termos de área, mas isso depende da adaptação do solo em áreas sem histórico com agricultura, ou seja, o montante a ser produzido começará pequeno e avançará mais lentamente, do que em áreas já consolidadas (CANAL RURAL, 2019).

Diante disso a agricultura digital, os avanços promovidos pelas tecnologias ligadas a Agricultura digital já é uma realidade nas propriedades agrícolas do Brasil. Progressivamente a tecnologia se propaga em lavouras, assim ocorre também com a informação que é passada dos técnicos para os produtores rurais. Já é fato de que existe uma heterogeneidade nos ambientes de produção, e que fatores como relevo, vegetação, solo e o histórico do uso da área influenciam na variabilidade e qualidade de cultivo e que tais fatores são de grande importância na tomada de decisão de qual estratégia utilizar a fim de garantir altos rendimentos. (BERNARDI et al., 2014).

Agricultura de precisão e digital

A Agricultura 4.0 surge da conveniência de otimização do método lucrativo agrícola, ascensão de negócios mais eficientes no terreno, além de sua superior rentabilidade, através do uso de tecnologias é executável o seguimento em período verídico da lavoura, bem como monitoramento de pragas, administração de insumos, além de admitir para uma tomada de decisão mais competente.

Os efeitos potencialmente transformadores da tecnologia que está por vir para a agricultura, positivos e negativos, exigem que se faça uma pausa para reflexão antes que a revolução tome conta. Os termos Agricultura 4.0 e quarta revolução agrícola, assim como a quarta revolução industrial, se referem a mudanças provocadas pelo uso de novas tecnologias, particularmente o uso de IA para tomar decisões de planejamento mais inteligentes e alimentar robôs autônomos. Essas máquinas inteligentes podem ser usadas para cultivar e colher, capinar, ordenhar gado e distribuir agroquímicos por drones. Outras tecnologias agrícolas específicas incluem novos tipos de edição de genes para desenvolver safras de maior rendimento e resistentes a doenças; fazendas verticais; e carne sintética produzida em laboratório (ECYCLE, 2020).

A agricultura de precisão é um sistema de gerenciamento agrícola que cresce no país na medida que as informações sobre conceitos, técnicas e vantagens chegam ao produtor rural, as ferramentas buscam acompanhar o processo de maneira precisa, coletando e analisando as informações através de tecnologias que facilitam a tomada de decisão pelos produtores e trabalhadores rurais, proporcionando maior controle sobre todo o processo produtivo e contribuindo para uma produção eficiente, lucrativa e sustentável.

Começou com as tecnologias das máquinas dotadas de receptores GPS e geração de mapas de produtividade. Avançou e hoje vai além dos equipamentos e das culturas de milho e soja (CNA, 2019).

O agricultor foi perdendo sobremodo da sua visão dos detalhes como ao solo e à cultura, porque o maquinário de alta qualidade trata facilmente grandes áreas de maneira homogêneo. no entanto, essa estratégia não pode ser considerada otimizada, pois nem o solo nem a cultura são uniformes dentro dessas áreas. É importante resgatar essa aptidão que o agricultor possuía no passado e adequar as grandes extensões de lavouras e suas operações mecanizadas juntamente as diferenças intrínsecas anexo dessas áreas produtivas. No entanto, a agricultura a observação visual pelo agricultor e os ajustes manuais nas operações não são mais possíveis. Ao adaptar a averiguação da variabilidade e a instrução agrônomo já reunido com o uso de máquinas e algum nível de automação dos processos, é provável reproduzir boa parcela daquele detalhamento originado antigamente através do agricultor no gerenciamento de pequenas glebas (MOLIN, et al, 2015).

A telemetria é uma ferramenta que atua como uma forte aliada na gestão e no monitoramento da lavoura. Por meio dessa ferramenta, uma série de informações são enviadas pelas máquinas automaticamente por meio de rede celular (GPRS) ou wi-fi ao servidor na nuvem. Havendo conectividade, estas informações podem ser acessadas em tempo real via internet ou por meio de um smarthphone, computador ou tablet. O recurso permite verificar se a aplicação de agroquímicos foi realizada conforme o programado e no volume de aplicação desejado e, também, se as condições climáticas estavam adequadas, tais como a temperatura e a umidade relativa no momento da aplicação (PONTELLI, 2018).

Outra vantagem além do monitoramento dessas ferramentas é aplicação a taxa variável que permite ao produtor variar a taxa de insumos agrícolas em pontos diferentes do talhão. Assim, cada área recebe um manejo diferenciado de acordo com sua capacidade produtiva, otimizando resultados (FIELDVIEW, 2020).

O termo taxa variável surgiu na década de 1970 nos Estados Unidos. Quando agricultores, visando eliminar variações durante as pulverizações desenvolveram sistemas de controles e válvulas com a finalidade de compensar os efeitos de mudanças de velocidade que notadamente influenciava na vazão do sistema, e assim permitindo pulverizações homogêneas durante as aplicações (GEBHARDT et al., 1974).

Segundo STAFFORD (2000), o desenvolvimento de máquinas agrícolas capazes de executar intervenções à Taxa Variável (TV) foi parte fundamental no sistema, pois a correta aplicação potencializa os resultados de todos os levantamentos de atributos assim como os efeitos dos recursos tecnológicos utilizados até obterem-se as prescrições. Para corretas prescrições é necessário usar sensores embarcados em ferramentas como satélites ou RPA's (popurlamente conhecida como drone), esses equipamentos permitem conhecer e estimar o potencial produtivo através de cálculos geoespaciais.

Os drones são ferramentas de agricultura de precisão e já provaram que estão entre as tecnologias digitais mais promissoras para a agricultura em diversos países. De acordo com pesquisa do Business, o mercado de drones comerciais e civis cresceu a uma taxa anual de 19% entre 2015 e 2020. Já o Goldman Sachs, estimou que o setor agrícola será o segundo maior usuário de drones do mundo a partir de 2021. Os drones podem ser utilizados em qualquer cultivo para aplicação de defensivos agrícolas químicos e biológicos, desde que a atividade esteja regulamentada e os produtos devidamente registrados (CORTEVA, 2021).

A coleta de dados realizada por ferramentas digitais é uma das formas de levar mais eficiência para as lavouras. Quando analisadas e interpretadas, essas informações levam mais clareza para o processo de tomada de decisão no campo. Decisões melhores e mais precisas significam menos perdas na lavoura. Essas bases de dados de uma fazenda que geram modelos preditivos para uma operação estão sendo chamadas de gêmeo digital da fazenda (SYNGENTA, 2021).

Uso de rpa's na agricultura

A princípio os RPAs foram criados para utilização militar, mas a percepção na diminuição dos custos e a expansão tecnológica, o produto começou a chamar atenção de outros mercados pela sua potencialidade, propagando-se então a outros setores, como mapeamento, segurança e também como lazer (RIBATSKI; SANTOS; NETO NOGARA, 2018). Drone é um termo genérico, que não possui definição técnica e não legislativo, o qual foi originado nos Estados Unidos propagando-se pelo mundo (LUCHETTI, 2019).

Inicialmente, essas aeronaves podem ser utilizadas para levantamentos e captação de imagens em geral em áreas de produção agrícola e avanços recentes na qualidade de câmeras e sensores mostraram que eles podem ser usados para diagnosticar o estresse da cultura (BAOFENG et al., 2016) e controlar ervas daninhas (BRIGHT et al., 2016; LÓPEZ-GRANADOS et al., 2016).

Dentre algumas das características promissoras dos RPA's são destaque: a longa duração do voo, a melhoria da segurança da missão, a repetibilidade do voo devido à melhoria dos pilotos automáticos e a redução dos custos operacionais quando comparados às aeronaves tripuladas (WATTS; AMBROSIA; HINKLEY, 2012).

As vantagens potenciais da plataforma, no entanto, são função de diversos fatores, como aeronaves, tipos de sensores, objetivos da missão, além de todos os trâmites legais de regulamentação operacional da plataforma específica.

Em comparação com outras plataformas de aeronaves tripuladas com os mesmos sensores embutidos usados na AP, as principais vantagens do uso de RPA's podem ser listadas: i) amostragem de baixa altitude; e ii) com base no movimento Structure (Motion Structure-SfM) cria-se um modelo de altura do dossel a partir de uma nuvem de pontos (HUNT; DAUGHTRY, 2018).

De acordo com Pecharromás & Veiga (2017), atualmente é permitido a operação de RPA's através da autorização expressa ou certificado de autorização de voo da ANAC. Experimento Pecharromás & Veiga (2017) também mencionam em seu estudo que qualquer RPA requer autorização prévia do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), exatamente como é o caso das aeronaves tripuladas e está sujeito às mesmas regras. A regulamentação de aspectos específicos das atividades de voos com RPA's no Brasil é recente, produzido por duas agências, tem vínculos com diferentes departamentos governamentais, e ramo militar, todos em nível federal: DECEA, ANAC e Nacional Telecomunicações - ANATEL (CASTILLO, 2019).

Quanto à legislação sobre o uso de RPA's, de acordo com a ANAC (2019), os RPA'S's que pesam mais de 250 gramas, só podem voar para longe, pelo menos 30 metros. Além disso, os operadores dessas aeronaves (até 250 gramas). Considerado licenciado sem documentação emitida pela ANAC desde que o dispositivo não seja usado para voos acima de 400 pés.

Com isso em mente, a ANAC promulgou o Decreto nº 606/MD em junho de 2004, que contém requisitos gerais para RPA's civis. Entre esses requisitos, registro obrigatório de RPA's para todos os RPA's, recreativos ou não, aqueles com peso superior a 250g e limitados a 25kg e que não voem fora de vista ou 400 pés (120 metros) acima do solo.

Três tipos de sensores remotos são usados na agricultura de precisão: RGB, sensores multiespectrais e hiperespectrais (PREY et al., 2019). Uma imagem digital consiste em dados (pixels) que misturam canais de cores vermelho-verde-azul (RGB), também conhecido como espectro visível (ROSELL et al., 2020). As câmeras RGB de nível de consumidor podem ser usadas para detectar e classificar vários tipos de feições de daninhas, por exemplo com base na cor vermelho-verde-azul e nas informações de profundidade de flores, frutas, galhos e troncos de árvores. Os sensores RGB também podem detectar outras características da planta, como tamanho da planta, número de folhas, cotilédone e forma real da folha, cor, superfície e posição (MADSEN et al., 2020). Lima (2020) destaca que as câmeras que utilizam os sensores do modelo de cores RGB (Red, Green e Blue) operam com as cores representadas pelas componentes vermelho (R), verde (G) e azul (B) (cores primárias).

A câmera RGB é usada para a detecção de plantas daninhas, geralmente disponível no mercado local, o custo é baixo em comparação com outros sensores (BARBA et al. 2020). O método RGB também é de baixa manutenção e requer pouco treinamento para dominar as técnicas de tirar fotos e analisar imagens (GASPAROVIC et al., 2020). Além disso, os sensores RGB podem ser integrados às RPA's para realizar várias tarefas agrícolas, incluindo mapeamento espacial de campo, identificação de estresse nutricional de plantas e estimativa de biomassa (BARESEL et al., 2017).

O sistema RGB é um dos principais sistemas utilizados na apresentação de cores em sistemas digitais (RICKER, 2004). Cada pixel é caracterizado por um espaço espectro

tridimensional, contendo as três cores que formam o sistema (Red, Green e Blue). A intercalação dessas três cores ocasiona em uma cor por pixel. Normalmente as imagens digitais possuem pixel, uma vez que cada uma das três cores, irão apresentar 256 níveis de cinza, ou seja, esse fator possibilita a formação de mais de 16,7 milhões de cores (256 x 256 x 256) (BARBOSA, et al., 2016). Atualmente existem uma grande diversidade de câmeras digitais no mercado. As câmeras RGB atuam captando luzes no espectro do visível para humanos, o que varia de 400 a 700 nm (SAKAMOTO et al., 2010).

De acordo com Chang (2019), no processamento de imagens multiespectrais usando apenas algumas dezenas de bandas espectrais discretas, a informação espectral esperada de um pixel de imagem multiespectral é geralmente muito limitada em comparação com o que os pixels de imagem hiper espectrais fornecem.

A contribuição ao sensoriamento remoto orbital tem aumentado, porém o uso de veículos aéreos não tripulados (RPA's) complementam essas informações via satélite, pois esses possuem a capacidade de detectar um tipo de vegetação, com precisão centimétrica, ainda sem a interferência de nuvens(RIBATSKI; SANTOS; NETO NOGARA, 2018).

Além do uso dos sensores como já citado acima uma grande funcionalidade que os drones vem ganhando espaço é na utilização na pulverização. Pois essa forma de uso apresenta vantagens: aplicação de áreas de difícil acesso, em áreas muito íngremes o com obstáculos onde os demais pulverizadores jamais conseguirão operar, talvez essa seja a maior vantagem do uso de drones pulverizador. O Drone também permite fazer aplicação a taxa variável ou localizado somente na área em que necessita, com isso há economia de produto (LUCHETTI, 2019).

RPA's pulverizadores

Segundo Passos et al. (2014) pulverizar com um drone é semelhante a usar pulverizador autopropelido ou rebocado, mas pode ser feito com ou sem assistência de controladores, antes de tudo é feita uma avaliação de metas e estágios culturais, Em seguida, define-se qual ponta será utilizada com base no formato do jato e vazão suficiente. Depois o preparo da calda é realizado da mesma forma, respeitando a ordem e adiciona-se o produto ao tanque de acordo com a receita do produto e conforme mencionado concentração.

Apesar das vantagens citadas no tópico anterior, existe alguns gargalos como: não se existe protocolos corretos para aplicação com as RPA's, já que quando se deseja realizar qualquer aplicação de um produto fitossanitário, deve-se sempre consultar a bula do mesmo para se averiguar se aquele produto é recomendado para aquele tipo de aplicação. Esse equipamento possui limitações quanto ao seu baixo rendimento operacional de cobertura entre 3 a 4 hectares por hora, além da necessidade de mão de obra especializada para se aplicar o mesmo (LUCHETTI, 2019).

Conforme complementa Jobim (2017) as boas práticas agrícolas, quando bem feitas, permitem a aplicabilidade de pulverizações para que possam ser qualidade. A escolha correta da tecnologia é a principal ação das boas práticas, porque escolhendo o pulverizador certo para cada aplicação, é possível evitar diversos problemas.

Vários modelos de drones de pulverização já estão disponíveis mercado, então existem principalmente: DJI Agras MG-1; Pelican drone; JT pulverizador 15-608; AGL-20; e ElevaSpray 150. Seu preço varia de acordo com suas especificações, A capacidade de realizar ações automatizadas deve ser verificada; a existência de software já embutido no sistema; tempo de voo autônomo; número de bicos; e capacidade do tanque de combustível. (Tabela 1)





Drone	Capacidade	Preço
DJI Agras MG-1	<ul style="list-style-type: none"> • Rendimento 3 a 4 ha/h; • Reservatório 10 kg; • Capacidade de voo 10 min; • Velocidade de até 30 km/h; • 4 bicos de pulverização; • Modo Smart ou Manual; e • Ajusto automático da pressão de acordo com a velocidade. 	R\$ 107.000,00
		
Pelicano	<ul style="list-style-type: none"> • Rendimento 5 a 10 ha/dia; • Reservatório 10 kg; • Capacidade de voo 15 min; • 6 bicos de pulverização; • Velocidade de até 54 km/h; • Faixa de aplicação de 4 a 5 metros; • Missão de voo totalmente automatizada. 	R\$ 65.000,00
		
JT Sprayer 15-608	<ul style="list-style-type: none"> • Rendimento 5 a 10 ha/dia; • Reservatório 15 kg; • Capacidade de voo 15 min; • 6 bicos de pulverização; • Velocidade de até 30 km/h; e • Faixa de aplicação de 5 metros. 	R\$ 38.000,00
		
AGL-20	<ul style="list-style-type: none"> • Rendimento 4,5 ha/h; • Reservatório 20 kg; • Capacidade de voo 15 min; • 5 bicos de pulverização; • Velocidade de até 36 km/h; e • Faixa de aplicação de 3 metros 	R\$ 123.000,00
		

Tabela 1 - lista os dados dos principais drones disponíveis no mercado

Fonte : Bernardo et al., 2019.

METODOLOGIA

O experimento foi instalado no primeiro semestre do ano de 2022 em condições de campo. Localizada na estação no projeto do Prata, na cidade de Porto Nacional (10°26'24"S 48°20'23"O).

Estudo foi abordado de maneira qualitativa. Os dados foram tabulados em tabelas de acordo com os objetivos específicos e os tratamentos analisados .

Foi usado o produto Diquat, sendo pulverizado sobre uma área de 920m², que possuía *Brachiaria Brizantha* cv. Marandu implantado. Os tratamentos foram de 2 tipos de bicos pulverizador (original e antideriva) (figura 1). E 2 velocidades de voo (14 e 19km/h) com 4 repetições, totalizando assim um delineamento de 2x2x4, totalizando 16 parcelas experimentais. O voo foi realizado em uma altura de 3,10m. Com o veículo aéreo não tripulado DJI AGRAS T20. Figura 1.

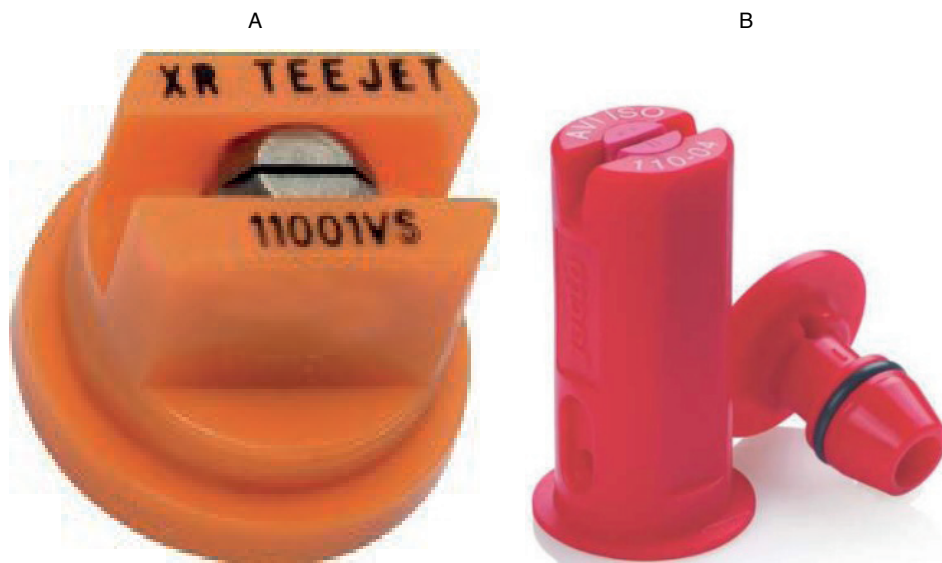


Figura 1- A- Bico original; 1B – Bico Antideriva

Fonte: Jacto, 2021; Steren, 2022



Figura 2 – DJI Agras T20 no voo do experimento

Foi medido distribuído em papel hidrossensível sob a área experimental nas folhas da planta que estava presente, com ajuda do grampeador (figura 3).



Figura 3- Colocação dos papéis hidrossensíveis sobre a folha da planta.

Foi realizado o procedimento anterior citado de voo, após isso os papéis foram retirados da área e foi analisado no aplicativo gotas o número de gotas (N.G.), densidade de gotas (D.G.), cobertura (Cob.). figura 4.

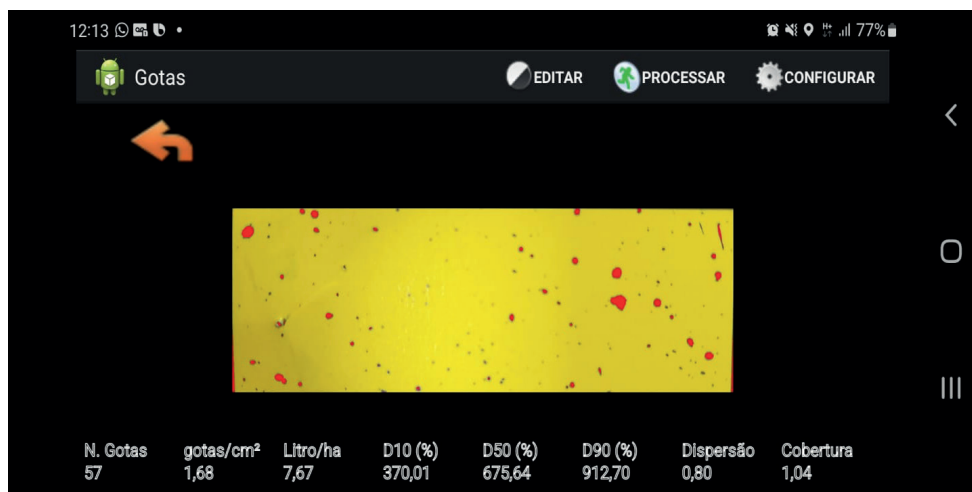


Figura 4- Interface do aplicativo gotas

Fonte: gotasapp, 2022.

Os demais parâmetros avaliativos de gura de faixa (l.f.), dispersão (disp.), (nf), taxa de aplicação (t.a.) foram expressos pelo próprio aplicativo do veículo aéreo não tripulado – dji fly more.

Os dados coletados foram submetidos a análise de variância e teste de f e as médias comparadas pelo teste de tukey a nível de 5% de probabilidade. os dados foram analisados em parcelas subdivididas, submetidos à análise de variância, e de regressão de 5%, utilizando-se o programa sisvar - a computer statistical analysis system.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise de variância (Tabela 2) expressa a variação ao nível de 1% avaliação de distribuição volumétrica de gotas com diferentes tipos de pontas de pulverização aeronaves remotamente pilotadas.

CAUSAS DE VARIACÃO	QUADRO DE ANÁLISE					
	L.F. (m)	N.G. (un)	D.G.(gotas. cm ²)	Disp. (m)	Cob. (m)	T.A. (l.ha ⁻¹)
Fc	0,0064**	0,0142*	0,042*	0,752 ^{ns}	0,5708 ^{ns}	0,635 ^{ns}
Média	5,40	51,90	61,64	30,50	62,08	66,91
CV (%)	1,25	41,00	2,79	0,85	0,51	3,54

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$), * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$) e ns não significativo ($p \geq 0,05$), respectivamente, pelo teste F.

Tabela 2- Resumo da análise de variância para largura de faixa (L.F.), número de gotas (N.G.), densidade de gotas (D.G.), dispersão (Disp.), cobertura (Cob.), (NF), taxa de aplicação (T.A.) com diferentes tipos de pontas de pulverização aeronaves remotamente pilotadas.

É possível observar que os parâmetros avaliados LF apresentou diferença estatística a nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$) entre os tratamentos analisados, já o parâmetro DG e N.G. para os tratamentos analisados apresentou diferença estatística a nível de entre 1 e 5% ($0,01 \leq p < 0,05$), e por último os demais tratamentos, Disp, Cob., T.A., não foi significativo a nível de 5% ($p \geq 0,05$).

O teste de médias dos parâmetros avaliados da distribuição volumétrica de gotas com diferentes tipos de pontas de pulverização aeronaves remotamente pilotadas estão expressos na tabela 3.

Tratamentos (bico: velocidade)	L.F. (m)	N.G. (un)	D.G (gotas.cm ⁻²)	Cob. (m)	T.A. (l.ha ⁻¹)	
T1 – original: 14	5,29b	27,25b	1,17b	0,87a	0,49a	3,92a
T2 – original: 19	5,16b	50,5a	3,29a	0,77a	0,70a	4,58a
T3 – Anti-deriva: 14	5,48a	59,0a	4,68a	0,96a	0,40a	2,43a
T4 – Antideriva: 19	5,48a	27,2b	2,02b	0,82a	0,45a	3,26a

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o teste deTukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 3 - Comparação estatística das para largura de faixa (L.F.), número de gotas (N.G.), densidade de gotas (D.G.), dispersão (Disp.), cobertura (Cob.), (NF), taxa de aplicação (T.A.) com diferente tipos de pontas de pulverização aeronaves remotamente pilotadas.

Para L.F. houve diferença estatística entre os tratamentos levantados, sendo que os tratamentos T3 e T4 foi superior aos tratamentos T1 e T2. Portanto é possível concluir que o bico antiderivação pode levar a uma maior faixa de aplicação. Fritz et al. (2019), relatam que quanto maior a envergadura da barra de pulverização em relação a aeronave, mais larga poderá ser a faixa de deposição efetiva, e quanto mais próxima a barra do final da asa, mais facilmente as gotas pulverizadas são arrastadas nos vórtices da ponta da asa, além do tipo de bico usado.

Em N.G. e D.G. houve um comportamento parecido nos tratamentos, onde o T2 e T3 foi superior aos demais tratamentos, isso pode sugerir que o bico original a uma velocidade de 19km/h e o bico anti-deriva a velocidade de aplicação de 14 km/h pode ser o mais adequado quando se busca melhor densidade de gotas e aplicação de produtos de contato que requer maior densidade. Mota (2021) descreve que os produtos de contatos, como inseticidas, requerem que o inseto entre em contato com o produto, por isso uma maior quantidade de gotas e maior densidade leva a uma maior eficiência de aplicação, já que no percurso da praga a chance de encontrar o produto é maior. a pulverização de agrotóxico, a densidade de gotas a serem depositadas no alvo, depende do produto a ser aplicado e ao alvo a ser atingido. Para alterar a densidade de gotas, deve-se ajustar o espectro de gotas e/ou volume de pulverização. Para um determinado volume de pulverização, Viera et al. (2019) relatam que o aumento do DMV está inversamente relacionado com o aumento da densidade de gotas no alvo. Nas condições avaliadas, observou-se que a densidade de gotas variou entre 0,9 e 20,9 gotas cm⁻². Houve variações na densidade de gotas de acordo com a altura de voo. Nas alturas de voo de 2 e 3 m, a variação ocorreu de forma aleatória. Andrade et al. (2018), avaliaram a aplicação de agrotóxicos por meio de RPA e também constataram variações na densidade de gotas de acordo com a altura de voo e tipo de ponta hidráulica. Wen et al. (2018) relatam em seu trabalho variações na densidade de gotas pulverizadas e relatam que pode ser causado pela velocidade do vento natural durante o experimento.

O parâmetro de Disp., ao contrário do encontrado aqui Silva (2020), objetivando comparar pontas de pulverização com deriva simulada, encontrou diferença estatística, sendo uma dispersão menor encontrada quando comparado aos bicos tradicionais. A Jacto (2021) afirma que os bicos antiderivas possuem aplicações mais precisas que conseguem aumentar a resistência da gota pelo vento, devido ao sistema de indução pelo ar que também evita aplicações e regula a dispersão de acordo com a velocidade do vento. Os valores encontrados aqui são inferior ao encontrado por Silva (2020) que obteve médias de dispersão de 1,96.

Por fim o sucesso de uma aplicação está relacionado à eficácia da aplicação e é influenciada pela seleção do equipamento, incluindo tipos de aviões, instrumentos e sistemas montados, pontas de pulverização hidráulicas ou atomizadores rotativos, ajuste do volume de calda, parâmetros operacionais (faixa de deposição, altura de voo, velocidade de aplicação e tamanho da barra de pulverização), condições ambientais favoráveis e momento correto da aplicação, devendo sempre levar em consideração as recomendações das boas práticas agrícolas (CARVALHO; CUNHA, 2019; ANTUNIASSI et al., 2017).

Apesar da TA e da Cob. não ter apresentado diferenças estatísticas Carvalho e Cunha, (2019). dentre os aspectos mais importantes da aplicação aérea estão a correta uniformidade, taxa de aplicação, cobertura, a seleção da largura da faixa de deposição, a baixa uniformidade de distribuição da aplicação, a qual pode ocorrer a variação da dose durante a pulverização e a qualidade ser comprometida. Tendo resultados negativos, como o baixo controle fitossanitário e resistência.

CONCLUSÕES

Pode-se concluir que para o bico antideriva apresentou uma melhor largura de faixa que o bico original, independente da velocidade. Também que para o número de gotas e para a densidade de gotas o bico original na maior velocidade testada e o antideriva na menor velocidade, apresenta melhores resultados, indicado assim principalmente para produtos de contato. Não houve efeito das velocidades e bicos testados para cobertura, taxa de aplicação e dispersão, ao contrário da importância descrita e demonstrada em outros trabalhos.

Leva-se a concluir que trabalhos futuros podem testar outros bicos, diferentes velocidades de aplicação, afim de buscar verificar os melhores conjuntos de tecnologias embarcadas e de técnicas de voos. Afim de obter melhores custos-benefícios na tomada de decisão de quais tecnologias adquirir.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a GDM CRIA – Porto Nacional, e todo o seu quadro de funcionários. Ane Gabriele de Oliveira a minha supervisora direto ao Murilo Viotto Del Conte coordenador, Cristian Rafael Brzezinski Gerente, e a Gerarda Beatriz Supervisora por ter disponibilizado a área e os equipamentos necessário para confecção do meu Trabalho de conclusão de Curso, pelo apoio e por dividir suas experiência comigo.

E a minha familiar por todo apoio nesse momento.

REFERÊNCIAS

ADAMIDES, G. Heuristic Evaluation of the User Interface for a SemiAutonomous Agricultural Robot Sprayer. **AGRIS on-line Papers in Economics and Informatics**, Vol. 12, N. 3, p. 3-12, 2020. ISSN 1804-1930. DOI 10.7160/aol.2020.120301

ALFARO, Rui Amaro Ferreira. **Os veículos aéreos não tripulados na PSP: visão estruturante e aplicabilidade operacional**. Tese de Doutorado. 2015.

ANAC, Agência nacional de aviação civil. **Regras de órgãos brasileiros sobre operação de drones**. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/drones/regras-de-todos-os-orgaosbrasilieiros-sobre-operacao-de-drones>. Acesso em: 11 mai. 2022.

ANTUNIASI, U. R.; BAILO, F. H. R.; SHARP, T. C. **Agricultura de Precisão**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, Uberlândia, 2007. Anais [...]. Uberlândia: CNPA, 2007.

APROSOJA. **A Soja**. Disponível em: <https://aprosojabrasil.com.br/a-soja/>, 2018. Acesso em: 09 de mai. de 2022.

APROSOJA. **Colheita de soja tem início e produção deve atingir 133,7 milhões de toneladas, 2018**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/3788-colheita-de-soja-tem-inicio-e-producao-deve-atingir-133-7-milhoes-de-toneladas>. Acesso em: 08 de out. de 2021.

ARARIPE, P.; OLIVEIRA, L. A. **Klefdmanngroup**, 2013. Disponível em: . Acesso em: 05 nov 2021.

BARROS, M. M.; VOLPATO, C. E. S.; SILVA, F. C.; PALMA, M. A. Z.; SPAGNOLO R. T. **Avaliação de um sistema de aplicação de fertilizantes a taxa variável adaptado à cultura cafeeira**. 2014. 16 f.

BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (editores técnicos). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014.

BUCK, Guilherme. **Agricultura de precisão, agricultura 4.0 e agricultura digital: é a mesma coisa?** Disponível em: <https://blog.climatefieldview.com.br/agricultura-de-precisao-e-agricultura-digital-4-0-e-a-mesma-coisa>. Acesso em: 27 mai. 2022.

CANAL RURAL. **Soja, veja tudo o que você precisa saber sobre a produção no Brasil**. Disponível em: <https://www.canalrural.com.br/agronegocio/soja/>. Acesso em 07 de mai. de 2022.

CASALI, André Luis et al. **Caracterização, avaliação e classificação dos pulverizadores autopropelidos produzidos no Brasil**. 2015. 125 f. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria. 2015

CEPEA. **Agronegócio brasileiro: importância e complexidade do setor**. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/opiniao-cepea/agronegocio-brasileiro-importancia-e-complexidade-do-setor.aspx>. Acesso em 07 de jun. de 2022.

CHIARELLO, Cássia Gilmar Fraga et al. **Regulação dos veículos aéreos não tripulados para agricultura no Brasil: das competências normativas**. 2017.

CLERCQ, M.; VATS, A.; BIEL, A. **Agriculture 4.0: the future of farming technology, 2018**. <https://www.oliverwyman.com/our-expertise/insights/2018/feb/agriculture-4-0--the-future-of-farming-technology.html>. Acesso em 26 de set. de 2021

CLIMATE FIELD VIEW. **Plantio em taxa variável: é uma boa estratégia**, 2020. Disponível em: <https://blog.climatefieldview.com.br/plantio-em-taxa-variavel-e-uma-boa-estrategia>. Acesso em 09 de out. de 2021.

CNA BRASIL. **Agricultura de precisão**. Disponível em: <https://www.cnabrasil.org.br/projetos-e-programas/agricultura-de-precisao>. Acesso em: 13 de nov. de 2021.

CONAB. **Soja em números (safra 2020/21)**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>. Acesso em 18 de nov. de 2021.

CORTEVA AGRISCIENCE. **Drones para a aplicação de defensivos agrícolas**. Disponível em: <https://www.corteva.com.br/boas-praticas-agricolas/blog/Drones-para-a-aplicacao-de-defensivos-agricolas.html>. Acesso em 08 de nov. de 2021.

de aeronave remotamente pilotada nas aulas práticas de estudo do relevo e de impactos ambientais.

ECYCLE. **Agricultura 4.0: o que é, prós e contras**. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/agricultura-4-0/>. Acesso em: 10 de out. de 2021.

EMBRAPA. **A tecnologia na agricultura**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/30015917/artigo-a-tecnologia-na-agricultura>. Acesso em 10 de nov. de 2021.

EMBRAPA. Trajetória da agricultura brasileira - Portal Embrapa. Disponível em: <https://www.embrapa.br/visao/trajetoria-da-agricultura-brasileira>. Acesso em 10 de out. de 2021.

FOWLER. Mapas de produtividade: entenda essa parte da agricultura de precisão. Disponível em: <https://tecnologianocampo.com.br/mapas-de-productividade/>. Acesso: 01 de nov. de 2021.

GEBHARDT, M.R. et al. Automatic sprayer control system. Transactions of ASAE, v.17, n.6, p.1043-1047, 1974.

JOBIM, Lucas dos Santos et al. Avaliação de diferentes técnicas de pulverização com base em agricultura de precisão. 2017.

JORGE, LA de C.; INAMASU, Ricardo Y. Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em agricultura de precisão. Embrapa Instrumentação-Capítulo em livro científico (ALICE), 2014.

JUNIOR, E. B.; FERREIRA, M. C.; LEITE, G. J. Avaliação da pulverização de calda herbicida em cana soca por meio de diferentes equipamentos, declives e horários de aplicação. Conbraf - Congresso Brasileiro de Fitossanidade, UNESP. Jaboticabal. 2013.

KARTAL, S. et al. Segmentation of Bean-Plants Using Clustering Algorithms. **AGRIS on-line Papers in Economics and Informatics**, Vol. 12, No. 3, pp. 36-43, 2020. ISSN 1804-1930. DOI 10.7160/aol.2020.120304.

LOPES, Alfredo; GUILHERME, Luiz. Fertilidade do solo e produtividade agrícola.

LUCHETTI, Alexandre. Utilização de drones na agricultura: impactos no setor sucroalcooleiro.

MALDANER, Leonardo; WEI, Marcelo; MOLIN, José. Boletim Técnico. 4. São Paulo, jan 2019.

MORAES, R. M. Soja Como Alimento Funcional. Agrolink, 2006. Disponível em: . Acesso em: 04 mai 2022.

NACHILUK K.; OLIVEIRA, M. D. M.; CUSTO DE PRODUÇÃO: UMA IMPORTANTE FERRAMENTA GERENCIAL NA AGROPECUARIA. Análises e indicadores do agronegócio, V. 7, N. 5, maio.2012.

PASSOS, Adriano Gonçalves dos; CAVALCANTI, Lucas Biazon; OLIVEIRA, Rafael Sato de. Projeto

PEROSA, Gleyson Cortez. A Eletrônica na Agricultura. 2000. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade de Marília, Marília, SP, 2000.

PIX FORCE. Tecnologia agrícola: a importância e principais inovações, 2018. Disponível em: <https://pixforce.com.br/tecnologia-agricola/>. Acesso em 09 de mai. de 2022.

PONTELLI, C.; Ferramentas podem aumentar a produtividade e reduzir custos. Agroanalysis abril, (2018).

Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico (EDUCITEC), v. 4, n. 08, 2018.

SEDIYAMA, T. Tecnologias de produção e usos da soja. Londrina, PR: Mecenas, v.1, p. 314. 2009.

SENAR. Serviço Nacional de Aprendizagem Rural de Goiás - SENAR/AR-G, 2015. Curso Agricultura de Precisão na Semeadura. Goiânia, Goiás, p.25. 2015

SILVA, J. M. AGUIAR, A. V.; RAMOS, K. S.; ZUCOLOTO, M.; LIMA, J. S. de S.; Variabilidade Espacial da Produtividade da Soja Sob Dois Sistemas de Cultivo no Cerrado. *Revista Engenharia Ambiental*, v. 6, n. 2, p. 397-409, 2009.

SILVA, José Roselito Carmelo; DE ARAÚJO, Charles Silva; REBOUÇAS, Darler Júnior Pereira. O uso

SILVA, M. S. NAVES, M. M. V.; OLIVEIRA, R. B. de.; LEITE, O. de S. M.; Composição química e Valor Proteico do Resíduo de Soja em Relação aos Grãos de Soja. Avaliação química e biológica do resíduo de soja, Campinas - SP, 2006.

STAFFORD, J.V. Implementing precision agriculture in the 21st century. *Journal of Ag°* GRISSO, R. et al. Precision farming: a comprehensive approach. Blacksburg: Virginia Tech, 2009. (Virginia Cooperative Extension). *gricultural Engineering Research*, v.76, p.267-275, 2000.

TEIXEIRA, J.; Modernização da agricultura no Brasil. Impactos econômicos, sociais e ambientais. Três Lagos, MS, p. 25.

TEOFILO, Danilo. Tecnologia embargada em máquinas agrícolas. 2019. 14 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia). Universidade Federal do Ceará, Ceará, CE, 2019.

VIEIRA, R. R. Tempo de resposta de um controlador eletrônico em sistemas de aplicação a taxas variáveis em pulverizadores agrícolas. 2013. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade de São Paulo (Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”). Piracicaba, 2013.

WANG, Xiaqing *et al.* Dynamic plant height QTL revealed in maize through remote sensing phenotyping using a high-throughput unmanned aerial vehicle (UAV). **Scientific Reports**, [S.L.], v. 9, n. 1, p. 34-58, 5 mar. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-019-39448-z>.

ZHANG, Jinshui *et al.* Estimating plant distance in maize using Unmanned Aerial Vehicle (UAV). **PLoS One**, [s. l.], p. 1-22, 20 abr. 2018.

POLIMORFISMO MOLECULAR EM AVEIAS FORRAGEIRAS POR MEIO DE MARCADORES MICROSSATÉLITES

Data de aceite: 01/08/2024

Sandra Patussi Brammer

Pesquisadora – área de Biotecnologia,
Empresa Brasileira de Pesquisa
Agropecuária – Embrapa Trigo
Passo Fundo – RS
<http://lattes.cnpq.br/0831352052358625>

Bianca Oliveira Machado

Doutoranda do Programa de Pós-
Graduação em Agronomia, Universidade
de Passo Fundo – RS
<http://lattes.cnpq.br/3538179788911170>

Luiza Elodi Greiner Brum

Graduanda em Engenharia Ambiental,
Universidade de Passo Fundo – RS
<http://lattes.cnpq.br/7214617972647548>

RESUMO: As espécies de aveias forrageiras, *Avena sativa* (hexaploide $2n=2X=42$), *A. strigosa* e *A. brevis* (diploides $2n=2x=14$), são excelentes para o consumo animal com elevada qualidade nutricional e boa adaptabilidade a solos pouco férteis. Apresentam produção de pastagens no período de maior déficit de forrageiras no Sul do Brasil e na América Latina como as áreas temperadas da Argentina, Uruguai e Chile, além das áreas de maior altitude na Bolívia, Equador e Peru. O objetivo do estudo foi verificar o polimorfismo molecular

entre as diferentes cultivares utilizando-se marcadores microsatélites, uma vez que acessam as informações diretamente no DNA e têm sido usados como apoio aos programas de melhoramento genético. Foram analisadas as cultivares de *A. sativa* Fundacep FAPA 43, Fronteira, URS Flete, FAPA2; *A. strigosa* GMX Bagual, GMX Picasso, Agro Quarai, IPR Cabocla, Agro Esteio e *A. brevis*, Centauro, Madrugada, testando-se 50 microsatélites específicos para o gênero *Avena*. Destes, 38 apresentaram amplificação, sendo que 18 (47%) foram polimórficos, 16 (42%) monomórficos e 4 (11%) não amplificaram fragmentos. Nesses 18 primers, foram identificados, no total, 29 alelos com variação do tamanho dos fragmentos entre 100 a 350 pares de base. As frequências alélicas variaram de 0,72 a 0,59 entre as cultivares de *A. sativa*; de 0,79 a 0,41 para *A. strigosa* e 0,48 e 0,45 para *A. brevis*. Considerando o Coeficiente do Conteúdo de Informação do Polimorfismo (PIC), a média dos valores foi de 0,47, representando uma estratégia útil para determinar a dissimilaridade e o polimorfismo molecular entre as cultivares analisadas.

PALAVRAS-CHAVE: *Avena strigosa*. *Avena brevis*. *Avena sativa*. Melhoramento genético. SSR.

MOLECULAR POLYMORPHISM IN FORAGE OAT THROUGH MICROSATELLITE MARKERS

ABSTRACT: The forage oat species, *Avena sativa* (hexaploid $2n=2X=42$), *A. strigosa* and *A. brevis* (diploid $2n=2x=14$), are excellent for animal consumption presenting high nutritional quality and good adaptability to infertile soils. They present pasture production in the period of greatest forage deficit in southern Brazil and in Latin America regions such as the temperate areas of Argentina, Uruguay and Chile, in addition to the higher altitude areas in Bolivia, Ecuador and Peru. The objective of the study was to verify the molecular polymorphism between different cultivars using microsatellite markers, since they access information directly in the DNA and have been used to support genetic breeding programs. The cultivars *A. sativa* Fundacep FAPA 43, Fronteira, URS Flete, FAPA2; *A. strigosa* GMX Bagual, GMX Picasso, Agro Quarai, IPR Cabocla, Agro Esteio and *A. brevis*, Centauro, Madrugada were analysed, testing 50 specific microsatellites for the genus *Avena*. Of these, 38 showed amplification, 18 (47%) were polymorphic, 16 (42%) were monomorphic and 4 (11%) did not amplify fragments. Eleven alleles were identified, with two or three alleles per locus, and fragment sizes ranging from 100 to 350 bases pairs. Considering the Polymorphism Information Content (PIC) coefficient, the mean value was 0.47, representing a useful strategy to determine the dissimilarity and molecular polymorphism between the analyzed cultivars.

KEYWORDS: *Avena strigosa*. *Avena brevis*. *Avena sativa*. Genetic breeding. SSR.

INTRODUÇÃO

As aveias forrageiras são compostas principalmente pelas espécies diploides ($2n=2x=14$) *Avena strigosa* e *A. brevis*, comumente designadas pelos produtores como “aveia-preta”, além de algumas variedades de *A. sativa* (hexaploide: $2n=6x=42$). Essas espécies são de ciclo anual e de estação fria, sendo que *A. strigosa* é considerada a espécie mais rústica dentro do gênero *Avena* (BONFANTE et al., 2021). Apresentam como características principais a boa adaptabilidade a solos pouco férteis e grande capacidade de perfilhamento, sendo consideradas espécies forrageiras de elevada qualidade nutricional aos animais (FONTANELI et al., 2012). Essas espécies possuem significância econômica na América do Sul e na Austrália, regiões nas quais o forrageamento dos animais e a conservação de solos são de extrema importância. Na América do Sul, *A. strigosa* é utilizada especialmente como cobertura de inverno em áreas temperadas da Argentina e do Uruguai, na área temperada do Chile, e nas áreas de maior altitude na Bolívia, Equador e Peru (CHINI, 2017). No Brasil, é largamente empregada na produção de pastagens no período de maior déficit de forrageiras no Sul do Brasil. Também tem sido empregada no sistema de plantio direto, onde controla a erosão, produz grande quantidade de matéria seca e realiza um expressivo controle de plantas daninhas, em virtude do efeito alelopático determinado pela cobertura morta (CARVALHO, 1998). Apresentam, ainda, produção considerável de biomassa em comparação com outras culturas de cobertura não leguminosas ou leguminosas (THOMAS, 2007).

O conhecimento das diferenças genéticas dentro ou entre grupos de genótipos é um importante parâmetro para o melhoramento de uma espécie. De acordo com CHINI (2017), tais informações são importantes para a elucidação da variabilidade existente entre os materiais e a caracterização de genótipos, o que requer a escolha de variáveis que identifiquem as diferenças e que permitam a seleção dos materiais. Já que a caracterização de linhagens, cultivares ou espécies é a base para a seleção de formas parentais apropriadas para o desenvolvimento dos cruzamentos (CIEPLAK et al., 2021).

Inúmeras são as pesquisas visando elucidar a origem e evolução das espécies do gênero *Avena*, principalmente comparando-se as análises citogenéticas, tais como a estrutura dos cariótipos, os padrões de bandas cromossômicas, o comportamento meiótico nos híbridos interespecíficos, com as análises moleculares, via diferentes marcadores moleculares (NIKOLOUDAKIS et al., 2008; OKOŃ; KOWALCZYK, 2012; FU, 2018; PODYMA et al., 2019) De acordo com Mondini et al. (2009), os marcadores moleculares que acessam as informações diretamente no DNA, apresentam diversas vantagens, pois são estáveis e detectáveis em todos os tecidos, independentemente do crescimento, diferenciação, desenvolvimento ou estado de defesa da célula, além de não ter a interação com efeitos ambientais, pleiotrópicos e epistáticos.

Os marcadores moleculares do tipo microssatélites, também chamados de SSR (*Simple Sequence Repeats*) têm sido escolhidos com grande frequência em diversas pesquisas que empregam análises de similaridade/diversidade genética. Os microssatélites são repetições em tandem de unidades de DNA de 1 a 6 nucleotídeos de comprimento, flanqueadas por sequências únicas no genoma, mas encontradas mais abundantemente no genoma de uma espécie (YU et al., 2017). Esses marcadores possuem excelentes vantagens comparados com os demais, pois são abundantes, fáceis de automatizar, codominantes, universais, robustos, confiáveis, reprodutíveis e de elevado polimorfismo (GROVER; SHARMA, 2016).

Em espécies vegetais e especialmente em aveia, tanto as hexaploides quanto as diploides, os marcadores de DNA são usados para estimar a similaridade e distância genética, selecionar e identificar formas desejáveis, avaliar os genótipos parentais e a eficiência dos cruzamentos, determinar a pureza das sementes e identificar os genes que determinam características funcionais importantes e aumentar a densidade de mapas genéticos (CIEPLAK et al., 2021).

A partir disso, objetivou-se verificar o polimorfismo molecular em cultivares de aveias forrageiras, utilizando marcadores moleculares microssatélites, como apoio aos programas de melhoramento genético.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram avaliadas as seguintes cultivares de aveias forrageiras e disponibilizadas pela Embrapa Trigo: *Avena sativa* Fundacep FAPA 43, Fronteira, URS Flete e FAPA2; *A. strigosa* GMX Bagual, GMX Picasso, Agro Quarai, IPR Cabocla e Agro Esteio e *A. brevis* Centauro e Madrugada. Os 50 microssatélites testados foram descritos por LI et al. (2000).

Germinação de sementes de aveias forrageiras

As sementes foram, inicialmente, imersas em hipoclorito de sódio (2%) e agitadas durante cinco minutos, seguido da substituição para água destilada também por cinco minutos, repetindo o processo com água destilada três vezes para a completa lavagem. Após, foram colocadas para germinar em papel germitest, sendo mantidas em câmara de crescimento a 23 °C por seis dias ou até o crescimento adequado das plântulas e realização da extração de DNA.

Extração de DNA

A extração de DNA foi baseada em Doyle & Doyle (1987) e realizada em folhas de plântulas, as quais foram maceradas separadamente em nitrogênio líquido. Para a extração, utilizou-se 700 µL de tampão CTAB (brometo de cetiltrimetilamônio) pré-aquecido e adicionado às amostras. Estas foram incubadas a 65 °C em banho-maria por 60 minutos, invertendo os tubos a cada 10 min, seguidas de resfriamento em temperatura ambiente por cinco minutos. Após, foram utilizados 450 µL de clorofórmio-álcool isoamílico (24:1), invertido por 10 minutos, seguida de centrifugação a 10.000 rpm por 10 minutos. Para precipitar o DNA, foi retirado o sobrenadante (aproximadamente 700 µL) para novos tubos e adicionados 550 µL de isopropanol, incubando-se por no mínimo 30 min a -20 °C. O sobrenadante foi retirado e o pellet formado lavado com 600 µL de etanol 96% deixando secar em temperatura ambiente. Para a ressuspensão do pellet, foi utilizado o tampão TE (Tris-HCl 10 mM, pH 8,0; EDTA 1 mM) 100 µL e adicionado 0,3 µL de RNase (10 mg/mL), misturando-se e incubando-se por uma hora a 37 °C. As amostras foram quantificadas, diluídas e armazenadas a -20 °C, até o momento do uso. A quantificação do DNA foi realizada em espectrofotômetro e também em gel de agarose.

Amplificação de DNA via PCR utilizando marcadores microssatélites (SSR)

Para a reação da PCR (Reação em Cadeia da Polimerase) foram adicionados os seguintes componentes: DNAs, oligonucleotídeos iniciadores (*primers*) específicos para *Avena*, DNTPs (nucleotídeos livres), enzima Taq DNA polimerase, tampão PCR, MgCl₂ e água ultra reativa (MiliQ). A quantidade e concentração dos reagentes utilizados estão

descritos na Tabela 1. As reações foram conduzidas em termociclador GeneAmp Thermal Cycler 9700 (Applied Biosystems - ABI) utilizando-se a seguinte programação básica: um ciclo a 94°C por 3min; 5 ciclos de 94°C por 1min, 60°C por 1min (decrecendo 1°C por ciclo até 55°C), 72°C por 1min; 30 ciclos de 94°C por 1min, 55°C por 1min, 72°C por 1min; e um ciclo de 72°C por 10min. Os produtos da amplificação foram separados em gel de agarose 2% e visualizados em fotodocumentador digital GelDoc XR+ (Bio-Rad). O marcador ladder utilizado foi o de 100pb. Para cada conjunto de *primers* (Tabela 2) também foram observadas as temperaturas de anelamento de acordo com as especificações de LI et al. (2000). Entretanto, embora a reação da PCR foi seguida pelo protocolo básico, descrito anteriormente, ajustes para alguns primers foram feitos considerando a etapa de anelamento.

Componentes do PCR	Concentração inicial	Concentração final	Volume por reação (15uL)	Volume do mix (13) reações
Água ultra reativa	-	-	6,8	88,4
Tampão Buffer (X)	10	1	1,5	19,5
MgCl ₂ (mM)	50	2,5	0,75	9,75
DNTP (mM)	10	1	1,5	19,5
Primer F+R* (uM)	10	0,2	0,3	3,9
Taq polimerase (U/uL)	5	0,75	0,15	1,95
DNA (ng)	25	100	4	4

* F e R – *primers Forward e Reverse*, respectivamente.

Tabela 1 - Componentes e condições ideais para a reação da PCR utilizada para análise do polimorfismo molecular em cultivares de aveias forrageiras.

Primer	Sequência do primer	Motivo de repetição	Tamanho (pb)	TA* (°C)
AM1	5'GGA TCC TCC ACG CTG TTG A	(AG) ₂₁ (CAGAG) ₆	204	46
	5'CTC ATC CGT ATG GGC TTT A			
AM2	5'TGA ATT CGT GGC ATA GTC ACA AGA	(AG) ₂₄	144	49
	5'AAG GAG GGC ATA GGG AGG TAT TT			
AM3	5'CTG GTC ATC CTC GCC GTT CA	(AG) ₃₅	280	51
	5'CAT TTA GCC AGG TTG CCA GGT C			
AM4	5'GGT AAG GTT TCG AAG AGC AAA G	(AG) ₃₄	166	48
	5'GGG CTA TAT CCA TCC CTC AC			
AM5	5'TTG TCA GCG AAA TAA GCA GAG A	(AG) ₂₇	172	46
	5'GAA TTC GTG ACC AGC AAC AG			
AM6	5'AAT GAA GAA ACG GGT GAG GAA GTG	(AG) ₂₀	209	52
	5'CCA GCC CAG TAG TTA GCC CAT CT			

AM7	5'GTG AGC GCC GAA TAC ATA	(AG) ₂₁	156	48
	5'TTG GCT AGC TGC TTG AAA CT			
AM8	5'CAA GGC ATG GAA AGA AGT AAG AT	(AG) ₁₅	254	47
	5'TCG AAG CAA CAA ATG GTC ACA C			
AM9	5'CAA AGC ATT GGG CCC TTG T	(AG) ₁₉	217	48
	5'GGC TTT GGG ACC TCC TTT CC			
AM10	5'AAA ATC GGG GAA GGA AAC C	(AG) ₂₀	186	46
	5'GAA GGC AAA ATA CAT GGA GTC AC			
AM11	5'TCG TGG CAG AGA ATC AAA GAC AC	(AG) ₁₂ (AAAG) ₃	225	49
	5'TGG GTG GAG GCA AAA ACA AAA C			
AM12	5'TGC TGA AGT GAA CAA TCG C	(AG) ₂₀	310	44
	5'CCT TCT CCA ACA ACT CTA C			
AM13	5'CGG CGT GAT TTG GGG AAG AAG	(AG) ₁₅	201	54
	5'CTA GTA ACG GCC GCC AGT GTG CTG			
AM14	5'GTG GTG GGC ACG GTA TCA	(AC) ₂₁	133	48
	5'TGG GTG GCG AAG CGA ATC			
AM15	5'GTG ACC GTA AAC GAT AAC AAC	(AC) ₁₄	229	47
	5'AAG CAA GAC GCG AGA GTA GG			
AM16	5'CGG GTT GGC ATC GAC TAT	(AG) ₄ (AC) ₁₆	114	44
	5'TGA CCA GGC TCT AAC ACA			
AM17	5'CGA GAT TTC GGT GTA GAC	(AC) ₁₃	250	44
	5'CCG GGA ATT AAC GGA GTC			
AM18	5'CAA TGT CGT CGG TGT GAG TTT	(AC) ₁₄	270	47
	5'TAC GAG TGT GGC ACG AGC			
AM19	5'ATA GAA CGG CAT GAT AAC GAA ATA	(AC) ₃ (AC) ₆ (AC) ₅ (AC) ₇	251	48
	5'GCG CGA CAA CAG GAC CTT C			
AM20	5'TGT CGA TTT CTT TAG GGC AGC ACT	(TG) ₁₀ (CG) ₅	258	50
	5'TCG CGA GAA AGA TGG AAA GGA GA			
AM21	5'ACG TTG GTC TCG GGT TGG	(AT) ₅ (AC) ₅ (AC) ₅	210	46
	5'AAA TCC TTG ACT TCG CTC TGA			
AM22	5'ATT GTA TTT GTA GCC CCA GTT C	(AC) ₂₂	138	46
	5'AAG AGC GAC CCA GTT GTA TG			
AM23	5'TCT TTA AGG ATT TGG GTG GAG	(AC) ₁₉	247	45
	5'AAT CTT CGA GGG TGA GTT TCT			
AM24	5'GTT ATT GAT TTC CTG ATG TAG AGA	(AAG) ₅ (TCA) ₅	170	45
	5'AGA GCC AAG AAA GCA ACT G			
AM25	5'AGC CTG GAC ATG TAA TCT GGT	(AC) ₈ (AC) ₄ (CT) ₄	229	47
	5'AGC CCT GGT CTT CTT CAA CA			
AM26	5'ATA AAG GGG GCA TTG GAT T	(AAG) ₁₄	224	41
	5'AAC ATA TTG GGC ATT CAC AT			

AM27	5'CAA AGG CCA AAT GGT GAG	(AAG) ₁₀	161	45
	5'CCG CAA AGT CAT ATG GAG CAT			
AM28	5'GAC CTC TTG AGT AAG CAA CG	(GAA) ₈	135	46
	5'TGG TCT TCC TAT CCA CAA TG			
AM29	5'TCC CGC AAA ATC ATC ACG A	(GAA) ₉	143	43
	5'AAG GGA GCA TTG GTT TTG TT			
AM30	5'TGA AGA TAG CCA TGA GGA AC	(GAA) ₁₄	203	43
	5'GTG CAA ATT GAG TTT CAC G			
AM31	5'GCA AAG GCC ATA TGG TGA GAA	(GAA) ₂₃	186	47
	5'CAT AGG TTT GCC ATT CGT GGT			
AM32	5'AGT GAA GGC GAT GGC GAA	(GAA) ₁₉	295	47
	5'GGA TAA TGC ACC CGA GTT GC			
AM33	5'GCA AAG GTT AAA TGG TGA GA	(GAA) ₁₅	246	43
	5'GCC AAC ATA TTG TGC ATA CA			
AM34	5'GAG TAA GCA AAG GTC AAA TG	(GAA) ₁₀	181	44
	5'GTT AGC ACT TCC CAC AAA ATC A			
AM35	5'CGT GAC CTT TAT ATC ACC ACT	(GAA) ₁₄	216	47
	5'GTG GCT CGT GAT ATT GGC AC			
AM36	5'CTT CCC GCA AAG TTA TCA T	(GAA) ₉	142	43
	5'AGG GGC ATT GGC TTT GTC			
AM37	5'CTT CCA CAA GGC AAC GAG TC	(GAA) ₉	213	47
	5'GGT TAG CAC TTC CCG CAA A			
AM38	5'TGA TGA CCT CTT GAG TAA GCA	(GAA) ₉	178	45
	5'TGC CTT TCG TGG ACT TAC TA			
AM39	5'TTG GGC ATG CCC TTG TT	(GAA) ₈	238	43
	5'GCC TTG GAG AGT AAA TTC TC			
AM40	5'CTC TGG GGG TGG TAG TTC CT	(GAA) ₇	249	49
	5'GAA AGA CAG GCC TCC ACA AAT			
AM41	5'CCA AAG GAA ACA AGT CAA TAG	(GAA) ₁₀	205	42
	5'TTC CCG CAA AGT CAT CAT			
AM42	5'GCT TCC CGC AAA TCA TCA T	(GAA) ₁₆	193	45
	5'GAG TAA GCA AAG GCC AAA AAG T			
AM43	5'AGC CCC TAC AAA GCC ATC A	(GAA) ₁₇	162	46
	5'CAA GCA AAG GAC GAA CAA TAG			
AM44	5'CGT TGG CCC CTT TTT TCA GTG	(GAA) ₁₁	174	49
	5'AGG GGC ATT GGC TTT GTC C			
AM45	5'AGG GAA AAA CAA AAC GTG AGA GTA	(AC) ₉	191	47
	5'ATG CAA CAG ATA GAC AAG GGA TTA			
AM46	5'TTG GCA AGG CGA GGT CT	(AC) ₉	105	46
	5'CCA AAA GGC TAC AAC ATC ACA C			

AM47	5'GCA CCG GTT AAA AAG GAG TCA G	(AC) ₁₄	274	50
	5'TTT CTT CTT ACC CAC CCA CCA C			
AM50	5'CTT GAG CGC TAG ATG GTT CC	(AT) ₆ (AC) ₅	273	47
	5'CTC TGT TAC TCA AGT GTT TCA ATA			
AM58	5'GTT TAG ATG GGG GTG GCT TAG	(CT) ₅ (AC) ₃	215	45
	5'TTT CTT GTT CTT TGG ATT TTA TTT			
AM61	5'TCG GAG CCG GTA TGG AAG C	(TTTC) ₄ (CCT) ₆	206	51
	5'GGT GGC AAG GGG TGT ATG AG			

*TA – Temperatura de anelamento. Fonte: LI et al. (2000)

Tabela 2 - Descrição dos 50 *primers* microsatélites testados e específicos para Avena, sequência, motivo de repetição, tamanho do fragmento amplificado (pb) e temperatura de anelamento (TA) em °C.

Análise do polimorfismo molecular

Os fragmentos amplificados pelos marcadores e visualizados em gel de agarose, foram, inicialmente, compilados em planilhas Excel e classificados como presente (1) ou ausente (0). Essas análises da presença/ausência de alelos, obtidos a partir dos marcadores microsatélites, possibilitaram as análises do coeficiente do Conteúdo de Informações do Polimorfismo, conhecido pela sigla PIC (Polymorphism Information Content), o qual é obtido pela fórmula: $PIC = 1 - \sum p_{ij}^2$, onde p_{ij}^2 é a frequência ao quadrado do alelo j para o locus i , cobrindo todos alelos por locus (NEI, 1973).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As numerosas análises de similaridade genética, entre diferentes espécies pertencentes ao gênero *Avena*, podem contribuir para explicar o processo de evolução dentro desse gênero, servindo, também, de apoio aos programas de melhoramento genético pelo desenvolvimento de uma determinada espécie (OKOŃ; KOWALCZYK, 2012).

No presente estudo, considerando as espécies *A. sativa*, *A. strigosa* e *A. brevis*, os *primers* demonstraram eficiência na detecção do polimorfismo molecular e, conseqüentemente, variabilidade genética entre as cultivares. Dos 50 *primers* testados, 38 foram considerados efetivos para a análise, ou seja, apresentaram amplificação de fragmentos. Destes, 18 (47%) apresentaram polimorfismo e 16 (42%) foram monomórficos. Além desses, 4 (11%) não amplificaram os fragmentos. A identificação dos *primers* que foram efetivos, sejam monomórficos ou polimórficos estão listados na Tabela 3.

Primers efetivos		Primers monomórficos	Primers polimórficos
AM1	AM27	AM6	AM1
AM2	AM28	AM9	AM2
AM4	AM29	AM19	AM4
AM5	AM30	AM26	AM5
AM6	AM31	AM27	AM7
AM7	AM33	AM28	AM13
AM8	AM34	AM29	AM14
AM9	AM36	AM33	AM15
AM13	AM37	AM34	AM20
AM14	AM38	AM36	AM21
AM15	AM39	AM37	AM22
AM17	AM40	AM39	AM25
AM19	AM42	AM40	AM30
AM20	AM43	AM42	AM31
AM21	AM45	AM45	AM43
AM22	AM47	AM61	AM47
AM24	AM50		AM50
AM25	AM58		AM58
AM26	AM61		

Tabela 3 - *Primers* efetivos com amplificação de fragmentos, monomórficos, polimórficos e que não amplificaram nenhum fragmento de um total de 50 *primers* testados na análise do polimorfismo molecular em cultivares de aveias forrageiras.

No estudo desenvolvido por Li et al. (2000), 62% dos microssatélites foram polimórficos com média de quatro alelos por locus nas espécies do gênero *Avena*; já nas cultivares de aveia, 36% dos microssatélites apresentaram polimorfismo com média de 3,4 alelos por locus. Entretanto, resultados publicados por Nersting et al. (2006) revelaram a amplificação de sete loci de microssatélites, sendo que seis desses loci de microssatélites foram polimórficos. Comparando-se os resultados desses últimos autores com o estudo em questão, dentre os sete loci que amplificaram, seis deles foram amplificados também no presente trabalho (AM1, AM2, AM25, AM31, AM38 e AM40). Entretanto, somente três loci apresentaram polimorfismo entre os genótipos (AM1, AM2 e AM25).

No total, foram identificados 29 alelos entre todas as cultivares com variação do tamanho dos fragmentos de 100 pares de base (pb) a 350 pb (Tabela 4) e com uma média de um a três alelos por conjunto de *primers*. Entretanto, considerando as cultivares dentro de cada espécie, pode-se observar que houve variação na frequência alélica, variando de 0,72 a 0,59 entre as cultivares de *A. sativa*; de 0,79 a 0,41 para *A. strigosa* e 0,48 e 0,45 para *A. brevis* (Tabela 4).

Cultivar	Primers efetivos	Número de alelos	Frequência alélica
Fundacep FAPA 43	16	21	0,72
Fronteira	13	17	0,59
URS Flete	17	21	0,72
FAPA2	17	21	0,72
GMX Bagual	18	23	0,79
GMX Picasso	13	14	0,48
Agro Quarai	13	14	0,48
IPR Cabocla	12	12	0,41
Agro Esteio	13	14	0,48
Centauro	13	14	0,48
Madrugada	12	13	0,45

Tabela 4 - Primers efetivos, número de alelos e frequência alélica obtida para cada cultivar, considerando as espécies *Avena sativa*, *A. strigosa* e *A. brevis*.

Semelhantemente, FU et al. (2003) empregaram 30 marcadores SSR em 96 cultivares de aveias canadenses (*A. sativa*), cultivadas entre 1886 a 2001, visando acessar as mudanças da diversidade alélica por longos períodos de tempo. Um total de 62 alelos foram identificados a partir de 11 loci efetivos para muitas das variedades, sendo que 39 alelos foram detectados com frequência menor e igual a 0,15 e apenas dois alelos com frequência maior que 0,95. Destacam que diminuições significativas no número de alelos foram identificadas a partir de 1970 e também em alguns programas de melhoramentos específicos, indicando, ainda, a necessidade de atenção à conservação do germoplasma de aveia.

Outro exemplo pode ser verificado em CIEPLAK et al. (2021), que visaram determinar o nível de diversidade de variedades de *A. sativa* cultivadas atualmente na Europa Central. Entretanto, nesse estudo foram utilizados os marcadores ISSR (Inter-Simple Sequence Repeats) e SCoT (Start Codon Targeted Polymorphism), sendo que ambos também foram adequados e que os coeficientes calculados evidenciaram que as cultivares analisadas apresentavam alta similaridade genética, embora há distinção na condução dos programas de melhoramento genético empregados. Do mesmo modo, tais autores concluíram que é necessário expandir o pool genético de variedades de aveia e que a estreita variabilidade genética das variedades cultivadas é um problema muito sério para muitos cereais. Ressalta-se, contudo, que o nível de polimorfismo mais baixo para as cultivares revela um pool genético relativamente estreito, pois o melhoramento de uma cultura pode chegar a um ponto em que uma nova diversidade deve ser adicionada na população inicial para alcançar os objetivos propostos (NERSTING et al., 2006).

Considerando apenas os resultados obtidos dos *primers* polimórficos, foi determinado, no presente estudo, o Conteúdo de Informação do Polimorfismo (PIC), que é

um indicador da capacidade informativa de um marcador em estudos genéticos. De acordo com a classificação de BOTSTEIN et al. (1980), marcadores com valor de PIC superiores a 0,50 são considerados muito informativos, com valores entre 0,25 e 0,50 medianamente informativos e com valores inferiores a 0,25, pouco informativos. Dos *primers* efetivos, 9% foram considerados muito informativos, destacando-se o *primer* AM14 com valor de PIC igual a 0,73; 82% considerados medianamente informativos e 9% pouco informativos, sendo o *primer* AM41 com o menor valor de PIC (0,18) (Tabela 5). A média dos valores de PIC foi de 0,47.

Marcador	Varição do tamanho de fragmentos (pb)	PIC
AM1	190-220	0,43
AM2	150-190	0,49
AM5	150-220	0,42
AM7	150-190	0,48
AM14	100-150	0,73
AM21	210-350	0,50
AM22	150-350	0,50
AM25	220-270	0,46
AM41	190-200	0,18
AM43	100-190	0,43
AM50	200-300	0,50

Tabela 5 - Variação no tamanho dos fragmentos e PIC (*Polymorphism Information Content*) para marcadores microssatélites avaliados em cultivares de aveia forrageira.

Os dados obtidos corroboram com Li et al. (2000), no qual a variação de PIC foi de 0,28 a 0,79 com uma média de 0,57. Já dados publicados por MONTILLA-BASCÓN et al. (2013), através da análise da diversidade genética de uma coleção de aveia, incluindo variedades crioulas e cultivares, revelou elevada variabilidade entre os acessos, sendo mais evidente dentro da coleção de variedades de aveia em comparação com as cultivares. Para esses últimos autores, o PIC variou de 0,46 a 0,96 com média de 0,80, sendo que a maioria dos SSRs foram considerados marcadores informativos, indicando o potencial uso para identificação de genótipos. Da mesma forma, Nersting et al. (2006) verificaram, nas aveias estudadas, valores de PIC para seis loci de microssatélites, entre 0,49 e 0,88, indicando também um valor altamente informativo.

Considerando a espécie *A. strigosa*, resultados interessantes foram evidenciados por Podyma et al. (2019) que avaliaram diferentes acessos mantidos no Banco de Germoplasma da Polônia (National Centre for Plant Genetic Resources/Radzików), mas oriundos de diferentes partes do mundo. Os resultados obtidos das fenotipagens (36 características), das isoenzimas (12 sistemas) e dos marcadores moleculares SRAP/

Sequence-related amplified polymorphism (8 pares de marcadores polimórficos), serviram para a compreensão da diversidade genética da espécie. Para essa última análise, um total de 589 fragmentos foram amplificados, variando de 50 bp a 828 bp e o PIC de 0,26 a 0,41. Os autores destacam que as análises conjuntas foram essenciais para a descrição mais confiável e completa desses recursos genéticos, o que devem resultar na melhor utilização em um programa de melhoramento genético. Considerando o presente estudo, em que empregou os marcadores microssatélites, os resultados tornam-se satisfatórios, representando excelente ferramenta molecular para diagnóstico do polimorfismo entre as cultivares de aveias forrageiras.

CONCLUSÕES

Há variabilidade genética entre as cultivares de aveias forrageiras, evidenciada pelos marcadores microssatélites, o que representa uma estratégia útil para determinar a dissimilaridade e o polimorfismo molecular entre as cultivares analisadas. Portanto, esses estudos permitirão subsidiar o programa de melhoramento genético, principalmente na identificação de genótipos divergentes e similares, para posterior orientação em cruzamentos e seleção.

REFERÊNCIAS

- BONFANTE, N. O.; BRAMMER, S. P.; SCHEFFER-BASSO, S. M.; LÂNGARO, N. C. Biologia floral de cultivares de *Avena strigosa*. **Biotemas**, Florianópolis, v. 34, n. 2, p. 1-15, 2021.
- BOTSTEIN, D.; WHITE, R. L.; STOLNICK, M.; DAVIS, M. Construction of a genetic linkage map in man using Restriction Fragment Length Polymorphisms. **American Journal of Human Genetics**, Cambridge, v. 32, n. 3, p. 314-331, 1980.
- CARVALHO, F. I. F. Aveia na Agricultura Moderna. **Seed News**, v. 5, p. 16, 1998.
- CHINI, Sílvia Ortiz. **Variabilidade em germoplasma de aveia-preta quanto a caracteres relacionados à aptidão forrageira ou cobertura do solo**. 2017. 170 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2017.
- CIEPLAK, M.; OKOŃ, S.; WERWIŃSKA, K. Genetic similarity of *Avena sativa* L. varieties as an example of a narrow genetic pool of contemporary cereal species. *Plants*, [s.l.], v. 10, n. 7, p. 1424, 2021.
- DOYLE, J. J.; DOYLE, J. L. A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. **Phytochemical Bulletin**, [s.l.], v. 19, n. 1, p. 11-15, 1987.
- FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; DE OLIVEIRA, J. T.; LEHMEN, R. I.; DREON, G. Gramíneas forrageiras anuais de inverno. In: FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S. **Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta na região sul-brasileira**. 2. ed. Brasília: Embrapa, 2012.

FU, Y. B. Oat evolution revealed in the maternal lineages of 25 *Avena* species. **Scientific Reports**, London, v. 8, n. 1, p. 4252, 2018.

FU, Y. B.; PETERSON, G. W.; SCOLES, G.; ROSSNAGEL, B.; SCHOEN, D. J.; RICHARDS, K. W. Allelic diversity changes in 96 canadian oat cultivars released from 1886 to 2001. **Crop Science**, Madison, v. 43, p. 1989–1995, 2003.

GROVER, A.; SHARMA, P. C. Development and use of molecular markers: past and present. **Critical Reviews in Biotechnology**, London, v. 36, n. 2, p. 290-302, 2016.

LI, C. D.; ROSSNAGEL, B. G.; SCOLES, G. J. The development of oat microsatellite markers and their use in identifying relationships among *Avena* species and oat cultivars. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 101, n. 8, p. 1259-1268, 2000.

MONDINI, L.; NOORANI, A.; PAGNOTTA, M. A. Assessing plant genetic diversity by molecular tools. **Diversity**, [s.l.], v. 1, p. 19-35, 2009.

MONTILLA-BASCÓN, G.; SÁNCHEZ-MARTÍN, J.; RISPAIL, N.; RUBIALES, D.; MUR, L.; LANGSON, T.; GRIFFITHS, I.; HOWARTH, C.; PRATS, E. Genetic diversity and population structure among oat cultivars and landraces. **Plant Molecular Biology Reporter**, [s.l.], v. 31, p. 1305-1314, 2013.

NEI, M. Analysis of gene diversity in subdivided populations. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, [s.l.], v. 70, n. 12, p. 3321-3323, 1973.

NERSTING, L. G.; ANDERSEN, S. B.; VON BOTHMER, R.; GULLORD, M.; JØRGENSEN, R. B. Morphological and molecular diversity of Nordic oat through one hundred years of breeding. **Euphytica**, Wageningen, v. 150, p. 327-337, 2006.

NIKOLOUDAKIS, N.; SKARACIS, G.; KATSIOTIS, A. Evolutionary insights inferred by molecular analysis of the ITS1-5.8S-ITS2 and IGS *Avena* sp. sequences. **Molecular Phylogenetics and Evolution**, [s.l.], v. 46, p. 102–115, 2008.

OKOŃ, S.; KOWALCZYK, K. Description of DNA analysis techniques and their application in Oat (*Avena L.*) genome research. **Acta Agrobotanica**, [s.l.], v. 65, n. 1, p. 3-10, 2012.

PODYMA, W.; BOLC, P.; NOCEN, J.; PUCHTA, M.; WLODARCZYK, S.; LAPINSKI, B.; BOCZKOWSKA, M. A multilevel exploration of *Avena strigosa* diversity as a prelude to promote alternative crop. **BMC Plant Biology**, [s.l.], v. 19, n. 291, p. 1-19, 2019.

THOMAS, Antony. **Evaluation of black oat (*Avena strigosa* Schreb.) germplasm**. 2007. 143 f. (Master of Science) - Auburn University, Alabama/USA, 2007.

YU, J.; DOSSA, K.; WANG, L.; ZHANG, Y.; WEI, X.; LIAO, B.; ZHANG, X. PMDBase: a database for studying microsatellite DNA and marker development in plants. **Nucleic Acids Research**, [s.l.], v. 45, p. D1046-D1053, 2017.

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO GIRASSOL DE ACORDO COM A ÉPOCA DE SEMEADURA

Data de submissão: 05/07/2024

Data de aceite: 01/08/2024

Emanuelly Alencar da Silva Souza

Acadêmico do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, Câmpus São Vicente, Centro de Referência de Campo Verde - CRCV Campo Verde – MT
<http://lattes.cnpq.br/3585345730092794>

Leonardo Vieira de Sousa

Acadêmico do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, Câmpus São Vicente, Centro de Referência de Campo Verde - CRCV Campo Verde – MT
<http://lattes.cnpq.br/0948135947611741>

Pablo Henrique Albernaz Salomão

Acadêmico do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, Câmpus São Vicente. , Centro de Referência de Campo Verde - CRCV Campo Verde – MT
<http://lattes.cnpq.br/6549151961088814>

Thiago José Feliciano Silva

Acadêmico do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, Câmpus São Vicente, Centro de Referência de Campo Verde - CRCV Campo Verde – MT
<http://lattes.cnpq.br/7989920015901383>

Lídia Mara Padilha de Moraes Prado

Acadêmico do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, Câmpus São Vicente, Centro de Referência de Campo Verde - CRCV Campo Verde – MT
<http://lattes.cnpq.br/1118023918253387>

Anderson Luís da Silva Nascimento

Acadêmico do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, Câmpus São Vicente, Centro de Referência de Campo Verde - CRCV Campo Verde – MT
<https://lattes.cnpq.br/5860660398917930>

Guilherme Dos Santos Costa

Acadêmico do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, Câmpus São Vicente, Centro de Referência de Campo Verde - CRCV Campo Verde – MT
<https://lattes.cnpq.br/1123841661483606>

Eduardo Brito Taveira

Acadêmico do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, Câmpus São Vicente, Centro de Referência de Campo Verde - CRCV Campo Verde – MT
<http://lattes.cnpq.br/9079300431652520>

Victor Arlindo de Matos

Professor do Instituto Federal de Mato Grosso - IFMT, Câmpus São Vicente, Centro de Referência de Campo Verde - CRCV
Campo Verde MT
<http://lattes.cnpq.br/9735613081603286>

Affonso Amaral Dalla Libera

Professor do Instituto Federal de Mato Grosso - IFMT, Câmpus São Vicente, Centro de Referência de Campo Verde - CRCV
Campo Verde – MT
<http://lattes.cnpq.br/5259428702371867>

Alexandre Caetano Perozini

Professor do Instituto Federal de Mato Grosso - IFMT, Câmpus São Vicente, Centro de Referência de Campo Verde - CRCV
Campo Verde – MT
<http://lattes.cnpq.br/9331788769309021>

Charles de Araújo

Professor do Instituto Federal de Mato Grosso - IFMT, Câmpus São Vicente, Centro de Referência de Campo Verde - CRCV
Campo Verde – MT
<http://lattes.cnpq.br/7434728453143274>

RESUMO: O girassol (*Helianthus annuus L.*) é uma planta anual da família Asteraceae de relevante importância econômica devido à sua ampla capacidade de utilização agrônômica. Entre as informações necessárias para o desenvolvimento da cultura em novo local de cultivo, destaca-se a determinação da época de semeadura. O objetivo neste estudo foi analisar o efeito da época da semeadura para o cultivo do girassol em Campo Verde. As análises feitas durante o experimento foram, produtividade, circunferência do capítulo e massa de 1.000 aquênios. O experimento foi conduzido na Estação Experimental da Agronomia, no Instituto Federal de Mato Grosso - IFMT, Câmpus São Vicente, Centro de Referência de Campo Verde, localizado em Campo Verde – MT. Os valores da produtividade, circunferência do capítulo e massa de 1.000 aquênios das semeaduras ocorridas em fevereiro foram maiores do que nas semeaduras ocorridas em março. A diferença de produtividade entre o menor e maior valor foi de 2.761,89 kg ha⁻¹, indicando que a semeadura tardia do girassol em segunda safra diminui consideravelmente a capacidade produtiva da planta. A semeadura do girassol deve ser realizada entre o dia 06 e 12 de fevereiro, pois aumenta a capacidade produtiva do girassol cultivado em segunda safra.

PALAVRAS-CHAVE: *Helianthus annuus L.*, características agrônômicas, produtividade.

SUNFLOWER PERFORMANCE ANALYSIS ACCORDING TO SEEDING TIME

ABSTRACT: The sunflower (*Helianthus annuus* L.) is an annual plant of the Asteraceae family of relevant economic importance due to its wide capacity for agronomic use. Among the information necessary for the development of the crop in a new cultivation site, the determination of the sowing time stands out. The objective of this study was to analyze the effect of sowing time on sunflower cultivation in Campo Verde. The analyses made during the experiment were, yield, capitulum circumference and mass of 1,000 achenes. The experiment was conducted at the Agronomy Experimental Station, at the Federal Institute of Mato Grosso - IFMT, São Vicente Campus, Campo Verde Reference Center, located in Campo Verde – MT. The values of productivity, capitulation circumference and mass of 1,000 achenes of the sowing that occurred in February were higher than in the sowing that occurred in March. The difference in productivity between the lowest and highest values was 2,761.89 kg ha⁻¹, indicating that late sowing of sunflower in the second crop considerably reduces the productive capacity of the plant.

INTRODUÇÃO

O girassol (*Helianthus annuus* L.) é uma planta anual da família Asteraceae de relevante importância econômica devido à sua ampla capacidade de utilização agrônômica, destacando-se na produção de óleo, além de sua possibilidade de ser fonte de proteínas para a alimentação animal, na forma de farelo e silagem.

O cultivo extensivo no município de Campo Verde-MT é caracterizado pelo uso de grandes culturas como a soja, milho e o algodão, sendo o girassol uma possibilidade para auxiliar na rotação e consórcio de culturas. Ao iniciar o cultivo de uma nova cultura em um local, a obtenção de informações agrônômicas poderá auxiliar e estimular novos produtores a iniciarem o seu desenvolvimento agrícola.

Entre as informações necessárias para o desenvolvimento de um novo cultivo agrícola, destaca-se a época de semeadura. A época ideal de semeadura do girassol será a que atende as condições agrônômicas exigidas pela cultura, sendo determinada pela disponibilidade hídrica e pelo clima característico da região.

O objetivo neste estudo foi analisar o efeito da época da semeadura para o cultivo do girassol em Campo Verde.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Estação Experimental da Agronomia no Instituto Federal de Mato Grosso - IFMT, Campus São Vicente, Centro de Referência de Campo Verde, localizado no município de Campo Verde – MT (15°33'36" S, -55°10'45" O), com altitude de 736 m, clima do tipo tropical úmido segundo Köppen. A temperatura média do local é de aproximadamente 24 °C enquanto o índice pluviométrico médio anual situa-se em torno 1.750 mm (INMET, 2023).

O experimento foi conduzido no delineamento em blocos ao acaso, utilizando 6 tratamentos (datas de semeadura do girassol, em que: testemunha - 06/02, T2 - 13/02, T3 - 20/02, T4 - 27/02, T5 - 06/03 e T6 - 13/03/2023) e quatro repetições. A semeadura da testemunha foi realizada no dia 27/02/2022, pois em alguns ensaios com a cultura houve a observação de resultados agrônômicos mais satisfatórios da cultura no Cerrado quando a semeadura tem acontecido entre o dia 21 de fevereiro e 10 de março (CARVALHO et al., 2021).

O preparo do solo foi realizado dia 30/01, por meio de uma grade niveladora assim reduzindo as irregularidades do local, evitando alagamento e escorrimento de partículas de solo.

Com auxílio de um riscador acoplado ao trator realizou-se a marcação das linhas de cultivo do girassol. Após a passada do riscador, na data de semeadura do primeiro tratamento, os sulcos de cultivo foram abertos manualmente utilizando sachos do tipo coração.

Com os resultados da análise de solo, foram feitos cálculos de adubação para adicionar nos sulcos os nutrientes, fósforo e nitrogênio disponíveis na forma de MAP. Aos 15 dias após a semeadura, em cobertura adicionou-se 30 kg ha⁻¹ de nitrogênio e metade da recomendação do potássio, de 30 kg K₂O ha⁻¹. Aos 30 dias após a semeadura aplicou-se o restante do nitrogênio, na dose de 30 kg de N ha⁻¹, do potássio, 30 kg de K₂O ha⁻¹ e o boro na dose de 2 kg B ha⁻¹. Os fertilizantes utilizados foram MAP (40% de P₂O₅ e 9% de N), ureia (45% de N), cloreto de potássio (60% de K₂O) e Produbor® (10% de B).

Cada parcela experimental constou de 4 linhas de cultivo de 5,20 m de comprimento cultivadas no espaçamento entre linhas de 0,50 m e de 0,45 m entre plantas, prevendo alcançar uma população de 44.444 plantas por hectare. Considerou-se como área útil da parcela as duas linhas centrais, desconsiderando-se 0,45 m em cada uma das extremidades.

A semeadura manual aconteceu após a distribuição dos adubos. O genótipo utilizado foi BRS 323 da Embrapa, material que tem como principal característica a estabilidade de produção em diferentes locais de cultivo e o rendimento de óleo superior a 40% (CARVALHO et al., 2021).

Posteriormente, ao semear três sementes por cova, realizou-se o desbaste durante o estágio V2, onde apresentaram duas folhas verdadeiras com o comprimento igual ou superior a 4,0 cm de comprimento.

Foram analisadas as seguintes características: circunferência do capítulo, com auxílio de uma fita métrica disposta em volta do capítulo no estágio R7 (cm); produtividade, por meio da relação entre a massa e área colhida dos capítulos debulhados após alcançarem o estágio R9 de maturação final (kg ha⁻¹) e massa de 1.000 aquênios, por meio da contagem de 200 sementes colhidas por parcela, totalizando 800 sementes por tratamento e relacionando o valor ao equivalente a 1.000 sementes (g).

Realizou-se a análise de variância dos dados coletados, quando observada diferença significativamente estatística, realizou-se o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para as médias obtidas.

Os dados meteorológicos de precipitação (mm) e temperatura do ar (°C) foram obtidos diariamente através de um pluviômetro localizado à pouco metros do experimento (Tabela 1).

Mês	Precipitação decendial (mm)			Total mensal
	01 -- 15	16 -- 25	25 -- 31	
Fevereiro	72,5	57,5	60	190
Março	117	93,5	30	240,5
Abril	211,5	34,5	0	246
Maio	7,5	0	9	16,5
Total				693

Tabela 1. Precipitação ocorrida durante a condução do experimento, Campo Verde-MT, 2019.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante a condução do experimento as plantas receberam um total de 693 mm, sendo observada a maior disponibilidade hídrica no mês de abril de 246 mm (Tabela 1).

Segundo Castro e Farias (2005), a necessidade hídrica para o ciclo da cultura do girassol é de aproximadamente 550 mm quando bem distribuídos. Desta forma, nota-se que a precipitação média necessária foi alcançada ao longo do experimento.

As médias tamanho do capítulo (cm) produtividade (kg por hectare) e massa de 1.000 aquênios (g) obtidas no experimento estão elencados na Tabela 2.

Semeadura	Produtividade (kg ha ⁻¹)	Circunferência do capítulo (Cm)	MMA (G)
13/02 T2	4.897,82 A	21,31 A	79,32 A
06/02 T1	4.441,98 AB	20,35 AB	88,20 A
20/02 T3	3.409,84 BC	18,65 BC	72,30 AB
27/02 T4	3.016,36 CD	19,27 AB	68,50 AB
06/03 T5	1.906,43 DE	16,20 CD	54,70 B
13/03 T6	1.680,09 E	15,86 D	52,41 B
MÉDIA	3.235,42	18,69	69,24
CV%	15,79	5,94	12,56

*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferiram estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 2. Características agrônômicas do híbrido BRS 323 de acordo com a época de semeadura.

De acordo com Carvalho et al. (2013), o híbrido BRS 323 deve ser cultivado no estado de Mato Grosso a partir de fevereiro até início de março, onde espera-se alcançar uma produtividade média de 1.800 kg ha⁻¹. Ao observar as épocas de semeadura, observou-se que apenas a última época de semeadura não atingiu os resultados recomendados.

Os valores da produtividade, circunferência do capítulo e massa de 1.000 aquênios das semeaduras ocorridas em fevereiro foram maiores do que nas semeaduras ocorridas em março. A diferença de produtividade entre o menor e maior valor foi de 2.761,89 kg ha⁻¹, indicando que a semeadura tardia do girassol em segunda safra diminui consideravelmente a capacidade produtiva da planta.

A circunferência do capítulo variou entre 15,86 para última data de semeadura, em 13/03 e 21,31 cm para a segunda data de semeadura, em 13/02. A mesma condição foi observada para produtividade, indicando que essa característica se relaciona à capacidade produtiva das plantas.

A massa de 1.000 aquênios (g) das parcelas semeadas em março, apresentaram valores inferiores a 60 g, sendo tais valores menores que os divulgados por Carvalho et al. (2013) no seu estudo sobre o genótipo BRS 323.

A observação dos menores valores agronômicos obtidos para as semeaduras ocorridas em março, indicam o quanto a maior disponibilidade hídrica pode interferir no desenvolvimento do girassol. As semeaduras ocorridas em fevereiro possibilitaram haver disponibilidade hídrica próxima do período de florescimento e após o florescimento, sendo essa condição desejável ao cultivo do girassol, o que provavelmente incrementou a capacidade produtiva das plantas.

CONCLUSÃO

A semeadura do girassol deve ser realizada entre o dia 06 e 12 de fevereiro, pois aumenta a capacidade produtiva do girassol cultivado em segunda safra.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, I. L.; AROLDO FILHO, G. **Avaliação de genótipos de girassol**: Ensaio Final de segundo ano, safrinha 2018, Recanto das Emas (DF). Londrina: Embrapa Soja, 2018. p. 50-51. (Apostila).

CARVALHO, C. G. P. de; OLIVEIRA, A. C. B. de; OLIVEIRA, M. F. de; CARVALHO, H. W. L. de; GODINHO, V. de P. C.; AMABILE, R. F.; OLIVEIRA, I. R. de; RAMOS, N. P.; GONCALVES, S. L.; LEITE, R. M. V. B. de C.; CASTRO, C. de; RIBEIRO, J. L.; PIRES, J. L. F.; BRIGHENTI, A. M.; ALVES, R. M. **Cultivar de girassol BRS 323**: híbrido com produtividade e precocidade. Londrina: Embrapa Soja, 2013. 1 folder.

CASTRO, C. de; FARIAS, J. R. B. Ecofisiologia do girassol. In: LEITE, R. M. V. B. de C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. de. (Ed.). **Girassol no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2005. p. 163-218.

Girassol - Portal Embrapa. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/tecnologias/girassol>>. Acesso em: 25 ago. 2023.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Temperaturas diárias**: máxima, média, mínima. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/>. Acesso em 25 ago. 2023.

ESTRATÉGIAS INTEGRADAS PARA O CONTROLE DO HLB NA CITRICULTURA BRASILEIRA

Data de submissão: 15/07/2024

Data de aceite: 01/08/2024

Sydney Pereira Galvão

Universidade Estadual do Norte
Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de
Ciências e Tecnologias Agropecuárias
Campos dos Goytacazes-RJ
<https://orcid.org/0000-0002-7540-1859>

Raudielle Ferreira dos Santos

Universidade Estadual do Norte
Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de
Ciências e Tecnologias Agropecuárias
Campos dos Goytacazes-RJ
<https://orcid.org/0000-0003-0801-7491>

Rachel Martins da Rocha Silva

Universidade Estadual do Norte
Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de
Ciências e Tecnologias Agropecuárias
Campos dos Goytacazes-RJ
<https://orcid.org/0000-0002-5387-0443>

RESUMO: O principal problema fitossanitário na produção de citros atualmente é a doença HLB. De dois a quatro anos após o início da infecção, todas as árvores nos pomares podem ser infectadas, embora a expressão dos sintomas possa ocorrer ao longo de muitos anos. Este estudo teve como objetivo destacar as técnicas utilizadas para o controle do HLB na cultura de citros no Brasil. Foi realizada uma revisão do estado da arte sobre técnicas de manejo recomendadas

para o controle do HLB. Foi observado que o uso de mudas saudáveis, manejo adequado da cultura e controle do vetor reduzem a incidência do patógeno, mas ainda é necessário um trabalho de melhoramento genético para desenvolver plantas resistentes.

PALAVRAS-CHAVE: Citrus. Psílideo. Greening.

INTEGRATED STRATEGIES FOR CONTROLLING HLB IN BRAZILIAN CITRUS CULTIVATION

ABSTRACT: The main phytosanitary problem in citrus production currently is the HLB disease. Two to four years after the start of infection, all trees in the orchards can be infected, although symptom expression may occur over many years. This study aimed to highlight the techniques used for HLB control in citrus cultivation in Brazil. A review of the state of the art on recommended management techniques for HLB control was conducted. It was observed that the use of healthy seedlings, proper crop management, and vector control reduce pathogen incidence, but genetic improvement work is still needed to develop resistant plants.

KEYWORDS: Citrus. Psyllid. Greening

INTRODUÇÃO

O HLB (huanglongbing) é o principal problema fitossanitário na cultura dos citros, causando perdas significativas na produção em todo o mundo e representando uma grande ameaça aos produtores de citros atualmente. Os agentes causais são as bactérias *Candidatus Liberibacter asiaticus*, *Candidatus Liberibacter americanus* e *Candidatus Liberibacter africanus* (Bové, 2006). As duas primeiras espécies são transmitidas pelo psílídeo *Diaphorina citri*, e a terceira pelo psílídeo *Trioza erythrae*, que não está presente no Brasil (CAPOOR et al., 1967; MARTINEZ; WALLACE, 1967; TEIXEIRA et al., 2005; YAMAMOTO et al., 2009). Os primeiros registros desta doença ocorreram no sudoeste da China em 1919, mas logo se espalhou para mais de 40 países na África, Ásia e Américas (Sul e Norte). No Brasil, a espécie *Ca. L. asiaticus* é a mais comum. São Paulo foi o primeiro estado brasileiro a registrar a doença, em 2004 (COLETTA-FILHO et al., 2004). No ano seguinte, esse problema foi registrado em Minas Gerais (CASTRO et al., 2010) e, em 2006, no Paraná (MENEQUIM et al., 2008).

Os sintomas iniciais aparecem apenas em algumas partes das plantas, geralmente em galhos ou ramos com folhas apresentando mosqueamento e amarelamento, podendo também as nervuras apresentarem essa coloração ou folhas com sintomas de deficiência nutricional (BOVE, 2006). À medida que a doença progride na planta, ocorre intensa desfolha dos galhos afetados, com morte das pontas, podendo progredir para toda a copa. Isso resulta em frutos menores, deformados, assimétricos e com coloração irregular da casca, além de queda prematura dos frutos e sementes abortadas (BOVE, 2006; GOTTWALD; MCCOLLUM, 2017).

Com o aumento da colonização da bactéria, o patógeno se espalha por toda a planta, aumentando a presença de sintomas (GOTTWALD; MCCOLLUM, 2017). Os pomares podem se tornar 100% infectados em 2 a 4 anos, enquanto a expressão dos sintomas pode ocorrer ao longo de muitos anos (GOTTWALD; MCCOLLUM, 2017). Em 2021, a incidência média de laranjeiras com sintomas da doença foi de 22,37% no estado de São Paulo e Triângulo Mineiro (FUNDECITRUS, 2021). Não há levantamento formal de incidência de HLB no Paraná, nem nos estados de Minas Gerais (exceto sul e sudeste) e Mato Grosso do Sul.

No Brasil, o controle de doenças tem se concentrado fortemente no controle de vetores (*Diaphorina citri*), embora outras medidas como o uso de mudas produzidas em estufas, plantio de pomares adensados, faixas de bordadura ultradensas e manejo integrado de outras pragas e doenças também façam parte de um plano estratégico para uma produção economicamente viável (Parra et al., 2010).

No caso do controle de vetores, este deve ser feito não somente em pomares comerciais, afetados ou não pelo HLB, mas também em plantas hospedeiras como *Murraya* usada em paisagismo urbano, pomares abandonados e plantas presentes em fazendas e

quintais, que se tornam potenciais criadouros do vetor e fontes de inóculo (PARRA et al., 2010). A melhoria no controle de psilídeos também envolve uma melhor compreensão da fenologia das cultivares para prever eventos como ondas vegetativas e reprodutivas ao longo do ano (OLIVEIRA, 2017), pois as ondas jovens desempenham um papel importante na atração do vetor e na multiplicação da bactéria. Dado que este é um patossistema complexo influenciado por muitos fatores, este estudo teve como objetivo destacar as técnicas utilizadas para minimizar os danos do HLB na citricultura brasileira.

METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste estudo, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre as técnicas mais utilizadas para o manejo do HLB em pomares de citros, com foco naquelas que apresentam os melhores resultados. A revisão bibliográfica é um estudo e análise de documentos de natureza científica, considerando contribuições de diferentes pesquisadores que estudam o tema, incluindo fontes como livros, teses, dissertações e artigos científicos. Os dados foram coletados em diversas bases de dados, incluindo Redalyc, Google Acadêmico, Periódicos Capes, Science Direct e Scielo. Os trabalhos selecionados foram inicialmente escolhidos com base no resumo, e aqueles que se enquadravam no objetivo do estudo foram analisados com maior profundidade. Os critérios de seleção incluíram o tema central do trabalho e a data de publicação, com preferência pelos estudos mais recentes.

Além disso, uma avaliação da qualidade dos estudos foi realizada utilizando ferramentas de avaliação de risco de viés. Limitações da revisão incluíram possíveis vieses na seleção dos estudos e a heterogeneidade dos métodos de manejo reportados. A consulta a especialistas da área foi realizada para validar as técnicas identificadas. Segundo Kitchenham (2004), revisões sistemáticas da literatura fornecem uma maneira de avaliar, interpretar e sintetizar todas as evidências relevantes sobre uma questão de pesquisa específica, minimizando vieses e proporcionando uma base robusta para conclusões e decisões.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A prevenção de infecções em plantas sadias é a principal técnica de manejo da doença, reduzindo o inóculo presente nas plantas e diminuindo a população de insetos vetores (BELASQUE JR. et al., 2010). Portanto, o estabelecimento do pomar deve ser feito com mudas sadias, produzidas em viveiros certificados e triados. Após o plantio, são necessárias inspeções constantes dos pomares e erradicação de plantas sintomáticas para reduzir as fontes de inóculo, juntamente com o monitoramento e controle químico do psilídeo para reduzir as chances de transmissão do patógeno (FUNDECITRUS, 2019). Nas situações em que a erradicação da planta e a aplicação de inseticida não forem possíveis, o controle biológico utilizando o parasitoide *Tamarixia radiata*, um dos principais agentes de controle do vetor, deve ser empregado (PARRA et al., 2010). Para maior eficiência no

manejo da doença, esse controle deve ser feito regionalmente, com a participação de todos os citricultores da área (BASSANEZI et al., 2013; VIDEIRA et al., 2015).

A existência de áreas vizinhas onde o manejo da doença não é realizado torna o controle do HLB ineficiente (MONTEIRO, 2013). O Fundecitrus promove um programa de controle do HLB em áreas fora da propriedade rural, substituindo plantas cítricas que não possuem controle do vetor (FUNDECITRUS, 2020). Para reduzir a disseminação do HLB, são necessárias atividades internas como manejo adequado e atividades externas na propriedade (MICHIGAMI, 2015). Há 10 vezes mais psíldeos infecciosos em áreas com manejo externo ineficiente do que em áreas com bom manejo interno e externo (BASSANEZI et al., 2013).

O monitoramento de *D. citri* é realizado principalmente por meio de dois processos: inspeção visual dos brotos para encontrar todos os três estágios do ciclo do inseto (ovo, ninfa e adulto) e o uso de armadilhas adesivas amarelas instaladas nas bordas das parcelas para monitorar os adultos (SASSI, 2016). A inspeção visual visa verificar se o controle de insetos por meio de pulverização está sendo eficaz. O monitoramento por armadilha adesiva identifica o momento e o local de entrada do inseto (MIRANDA et al., 2011). Este último é mais preciso, pois resulta em maior captura de psíldeos (SANTOS et al., 2014).

Para a formação de pomares ou replantio de plantas erradicadas, o uso de mudas saudáveis é crucial (AUBERT, 1990; ROISTACHER, 1996; DURAN-VILA et al., 2014). Plantas infectadas introduzidas no pomar tornam-se uma fonte significativa de inóculo (AUBERT, 1990), e epidemias de HLB podem ser estabelecidas por meio da introdução de materiais vegetais infectados e transmissão vetorial (GOTTWALD et al., 2007). O uso de mudas saudáveis também é essencial para prevenir a entrada de pragas em áreas de ocorrência livre. A erradicação de plantas doentes é fundamental para eliminar o inóculo da doença (BOVE, 2006), a ser conduzida em pomares comerciais em áreas de produção, residenciais e propriedades abandonadas (FUNDECITRUS, 2019).

Outro princípio de manejo envolve o controle vetorial de adultos e ninfas (HUNG et al., 2004), com inseticidas sistêmicos aplicados via solo em plantas de até 3 anos (BASSANEZI et al., 2020) e inseticidas de contato na parte aérea da planta (BOVE, 2014). O Sistema de Alerta Fitossanitário desenvolvido pelo Fundecitrus organiza informações sobre a população de psíldeos e a presença de brotos nos pomares, auxiliando na decisão de aplicar inseticidas no momento certo (FUNDECITRUS, 2017).

O período crítico para o controle do psíldeo é da abertura dos brotos até o estágio V3, exigindo aplicação intensificada de inseticida. Fora desse período, com menor taxa de emissão e expansão foliar, a aplicação de inseticida ou óleo mineral pode ser alternada com o controle biológico (CIFUENTES-ARENAS et al., 2018). Opções de longo prazo para combater a doença incluem o desenvolvimento de cultivares resistentes às bactérias ou plantas que repelem ou matam os psíldeos, técnicas que exigem um longo período de pesquisa (GOTTWALD et al., 2007; BOVÉ, 2012; 2014; GOTTWALD; MCCOLLUM, 2017; BASSANEZI et al., 2020).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante das informações encontradas na literatura, é notório que o prejuízo causado pelo HLB, pode ser reduzido, se for feito um bom manejo na área de produção, mas ainda assim, pode haver perdas já que sua eficiência não é completa. Ainda são necessários mais estudos para desenvolvimento de cultivares resistentes às bactérias ou plantas que possam repelir ou impedir a proliferação dos psílídeos, e assim será possível a minimização dos danos severos por ora causados pelo HLB.

REFERÊNCIAS

- AUBERT, B. **Integrated activities for the control of Huanglongbing-Greening and its vector *Diaphorina citri* Kuwayama in Asia**. Proceedings of the 4th International Asia Pacific Conference on Citrus Rehabilitation. FAO-UNDP, 1990. p. 133-144.
- BASSANEZI, R.B.; MONTESINO, L.H.; GIMENES-FERNANDES, N.; YAMAMOTO, P.T.; GOTTWALD, T.R.; AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A. **Efficacy of area-wide inoculum reduction and vector control on temporal progress of huanglongbing in young sweet orange plantings**. *Plant Disease*, v. 97, n. 6, p. 789-796, 2013.
- BASSANEZI, R.B.; LOPES, S.A.; MIRANDA, M.P.; WULFF, N.A.; VOLPE, H.X.L.; AYRES, A.J. **Overview of citrus huanglongbing spread and management strategies in Brazil**. *Tropical Plant Pathology*, v. 45, n. 3, p. 251-264, 2020.
- BELASQUE JR, J., YAMAMOTO, P.T., MIRANDA, M.P., BASSANEZI, R.B., AYRES, J.A., BOVE, J.M. 2010. **Controle do huanglongbing no estado de São Paulo, Brasil**. *Citrus Research and Technology*, v. 31, n. 1, p. 53-64, 2017.
- BOVÉ, J.M. **Huanglongbing: a destructive, newly-emerging, century-old disease of citrus**. *Journal of Plant Pathology*, v. 88, p. 7-37, 2006.
- BOVÉ, J.M. **Huanglongbing and the future of citrus in São Paulo state, Brazil**. *Journal of Plant Pathology*, v. 94, n. 3, p.465-467, 2012.
- BOVÉ, J.M. **Huanglongbing or yellow shoot, a disease of Gondwanan origin: Will it destroy citrus worldwide?** *Phytoparasitica*, v. 42, n. 5, p. 579-583, 2014.
- CAPOOR, S.P.; RAO, D.G.; VISWANATH, S.M. ***Diaphorina citri* Kuwayana, a vector of greening disease of citrus in India**. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, v. 37, n. 572.576, p. 1382-1382, 1967.
- CASTRO, M.E.A.; BEZERRA, A.R.; LEITE, W.A.; NOGUEIRA, N.D. **Situação e ações do estado de Minas Gerais frente ao Huanglongbing**. *Citrus Research & Technology*, v. 31, n. 2, p. 163-168, 2017.
- CIFUENTES-ARENAS, J.C.; GOES, A.; MIRANDA, M.P.; BEATTIE, G.A.C.; LOPES, S.A. **Citrus flush shoot ontogeny modulates biotic potential of *Diaphorina citri***. *Plos One*, v. 13, n. 1, p. e0190563, 2018.

COLETTA-FILHO, H.D.; TARGON, M.L.P.N.; TAKITA, M.A.; DE NEGRI, J.D.; POMPEU, J.; MACHADO, M. A.; AMARAL, A.M.; MULLHER, E.G.W. **First report of the causal agent of huanglongbing (“Candidatus Liberibacter asiaticus”) in Brazil.** *Plant Disease.*, v. 88, n. 12, p. 1382-1382, 2004

DURAN-VILA, N.; JANSE, J.D.; FOISSAC, X.; MELGAREJO, P.; BOVÉ, J.M. **Addressing the threat of Huanglongbing in the Mediterranean region: a challenge to save the citrus industry.** *Journal of Plant Pathology.*, v. 96, n. 4SUP, p. 4-3-S4. 8, 2014.

FUNDO DE DEFESA DA CITRICULTURA – Fundecitrus. 2017. **Fundecitrus monitora presença de inseto transmissor da pior doença da citricultura em 60% do parque citrícola.** Disponível em: < <https://www.fundecitrus.com.br/comunicacao/noticias/integra/fundecitrus--monitora-presenca-de-inseto-transmissor-da-pior-doenca-da-citricultura-em--60-do-parque-citricola/523>>. Acesso em: 14 ago. 2022.

FUNDO DE DEFESA DA CITRICULTURA – Fundecitrus. 2020. **Fundecitrus Ações externas já resultam em diminuição do greening.** Disponível em: < <https://www.fundecitrus.com.br/comunicacao/noticias/integra/acoes-externas-ja-resultam-em-diminuicao-do-greening/941>>. Acesso em: 14 ago. 2022.

FUNDO DE DEFESA DA CITRICULTURA – Fundecitrus. 2019. **Ações externas de controle do greening diminuem a captura de psilídeos dentro das fazendas.** Disponível em:< <https://www.fundecitrus.com.br/comunicacao/noticias/integra/acoes-externas-de-controle-do-greening-diminuem-a-captura-de-psilideos-dentro-das-fazendas/872>>. Acesso em: 14 ago. 2022.

GOTTWALD, T.R.; MCCOLLUM, T.G. **Huanglongbing solutions and the need for anticonventional thought.** *Journal of Citrus Pathology.*, v. 4, n. 1, 2017.

KITCHENHAM, Barbara. **Procedures for performing systematic reviews.** Keele, UK, Keele University, v. 33, n. 2004, p. 1-26, 2004.

MARTINEZ A.L.; WALLACE, J.M. **Citrus leaf mottle-yellows disease in the Philippines and transmission of the causal virus by a psyllid, *Diaphorina citri*.** *Plant Disease.*, v. 51, n. 8, p. 692-695, 1967.

MICHIGAMI, F.A.B. **Benefício das medidas de manejo adotadas interna e externamente a uma propriedade comercial de citros na redução do progresso do Huanglongbing.** 2015. 54f. Dissertação (Mestrado Profissional em Fitossanidade dos Citros). Fundo de Defesa da Citricultura. 2015

MIRANDA, M.P.; YAMAMOTO, P.T.; NORONHA JUNIOR, N.C. **Utilização de cartões adesivos para monitoramento de *Diaphorina citri*.** *Citricultura Atual.*, v. 81, p. 8-9, 2011.

MONTEIRO, A.B. **Efeito de um pomar sem manejo de huanglongbing sobre a ocorrência de *Diaphorina citri* e incidência de plantas doentes em uma área vizinha com manejo da doença.** 2013. 47f. Dissertação (Mestrado Profissional em Fitossanidade dos Citros). Fundo de Defesa da Citricultura. 2013

PARRA, J.R.P.; LOPES, J.R.S.; TORRES, M.L.G.; NAVA, D.E.; PAIVA, P.E.B. **Bioecologia do vetor *Diaphorina citri* e transmissão de bactérias associadas ao huanglongbing.** *Citrus Research & Technology.*, v. 31, n. 1, p. 37-51, 2017.

ROISTACHER, C.N. **The economics of living with citrus diseases: huanglongbing (Greening) in Thailand.** *International Organization of Citrus Virologists Conference Proceedings.*, v. 13, p. 279-285, 1996.

SANTOS, F.L.; MIRANDA, M.P.; MARQUES, R.N. **Eficiência de métodos de monitoramento de *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) em pomares no estado de São Paulo.** Resumos. Congresso Brasileiro de Entomologia. 2014.

SASSI, R.S. **Incidência e distribuição de *Diaphorina citri* portadores de *Candidatus Liberibacter asiaticus* em regiões citrícolas com alerta fitossanitário no estado de São Paulo.** 2016. 53 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Fitossanidade dos Citros). Fundo de Defesa da Citricultura. 2016.

TEIXEIRA, D.C.; AYRES, A.J.; KITAJIMA, E.W.; TANAKA, F.A.O.; DANET, J.L.; JAGOUEIX-EVEILLARD, C.; BOVÉ, J.M. **First Report of a Huanglongbing-like disease of Citrus in Sao Paulo State, Brazil, and association of a new *Liberibacter* species, “*Candidatus Libercibacter americanus*”, with the disease.** Plant Disease., v. 89, n. 1, p. 107-107, 2005.

VIDEIRA, N.; BRANCO, M.; ROSA, M. **review of invasive alien species impacts on eucalypt stands and citrus orchards ecosystem services. Towards an integrated management approach.** Journal of environmental management., v. 149, p. 17-26, 2015.

YAMAMOTO, P.T.; FELIPE, M.R.; SANCHES, A.L.; COELHO, J.H.C.; GARIM, L.F.; XIMENES, N.L. **Eficácia de Inseticidas para o Manejo de *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae) em Citros.** BioAssay., v. 4, n. 4, p. 1-9, 2009.

MONITORAMENTO DO CARBONO NO SOLO EM ÁREA DE REFLORESTAMENTO COM ESPÉCIES NATIVAS DE MATA ATLÂNTICA, EM SEROPÉDICA (RJ)

Data de aceite: 01/08/2024

Andreia Laurindo de Almeida Gomes

Caroline Souza da Fonseca

Castro Alves da Silva Junior

Fernando José Pereira Ferreira

João Felipe da Silva Gonçalves

Lucas Santos Honda

Maria Eduarda Pimentel de Melo

Matheus Henrique dos Reis Fonseca

Matheus Leal Soares das Neves

Thamires Franco da Conceição

Thassiany de Castro Alves

Yuri Marinho Ferreira

Vanessa Maria Basso

Érika Flávia Machado Pinheiro

RESUMO: Com o avanço das fronteiras agrícolas e a substituição da vegetação natural por espécies de interesse comercial, o reflorestamento recebe destaque por seu desempenho em diversos serviços ecossistêmicos, principalmente como reservatório de carbono. Assim, o objetivo do presente estudo foi avaliar o estoque de carbono no solo, assim como da fração lábil da matéria orgânica do solo, em um Planossolo em área de reflorestamento com espécies nativas de Mata Atlântica, em Seropédica (RJ). Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas em 8 profundidades: 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80 e 80-10 (cm) e conduzidas ao Laboratório de Matéria Orgânica do Solo (LMOS) para análises de densidade, carbono orgânico total, fração leve livre e estoque de carbono (0-40 e 0-100 cm). A densidade apresentou valores que variam de 1,20 a 1,70 mg/m³, com o aumento ocorrendo em profundidade. Em contraste, a fração leve livre diminuiu drasticamente com a profundidade, principalmente a partir da profundidade 20-30 cm. O estoque de carbono orgânico do solo a profundidade 0-40 cm foi de 143,38 Mg.ha⁻¹, correspondendo a 58% do carbono estocado até 100 cm (246,28 Mg.ha⁻¹).

Em geral, os resultados foram semelhantes ao encontrado na literatura, com exceção do carbono orgânico total que apresentou aumento em profundidade. Acredita-se que esse comportamento tenha ocorrido em função da área no passado ter sido aterrada, adicionando matéria orgânica não humificada em profundidade. Esse comportamento pode ser observado ocorrendo em menor grau na densidade, que apresenta uma rápida redução na profundidade 40-60 cm e novamente volta a aumentar.

INTRODUÇÃO

As florestas desempenham diversos serviços ecossistêmicos, destacando-se seu papel como um importante reservatório de carbono (C). A mudança no uso da terra, de uma forma geral, tem início pela substituição da vegetação natural por outras formas de cultivo (Sanquetta et al. 2020). Tais mudanças resultam em impactos negativos pois podem alterar o balanço de C no solo, aumentar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e modificar a qualidade dos solos (Dalal, 2021). Essas mudanças impactam diretamente os serviços ecossistêmicos, o balanço energético, hídrico, os estoques de carbono e a biomassa do sistema (Davidson et al. 2012). Em locais onde a mata nativa foi fortemente alterada, o plantio de espécies nativas de diferentes grupos ecológicos constitui uma importante estratégia na recuperação de áreas degradadas. A partir do Protocolo de Quioto em 1997, as florestas passaram a ser um fator estratégico na mitigação dos efeitos das mudanças climáticas e sendo valorizadas não só pelos produtos diretamente oferecidos (madeira, folhas, fibras, óleos, resinas), mas também pelos serviços ambientais desempenhados, como o sequestro de carbono e a conservação de solo e água (Stucchi, 2013).

Os estoques de carbono e nitrogênio são utilizados como indicadores da sustentabilidade das produções agrícolas (Cerri, 2017). O solo possui um reservatório total de C no sistema terrestre (~2300 Pg), equivalente a 3,7 vezes os valores de C retido na vegetação (~610 Pg), e, aproximadamente a 3 vezes dos valores de C contido na atmosfera (~770 Pg) (Scharleman et al., 2014). Com isso, o estoque de carbono no solo atua no controle das funções ecossistêmicas (Raiesi, 2021) e um pequeno aumento nesse estoque poderia contribuir na mitigação das emissões de GEEs (Minasny et al., 2017; Cotrufo, 2022).

A compreensão da dinâmica da matéria orgânica em ecossistemas florestais é fundamental para entender os processos de estoque e os mecanismos de estabilização de carbono no solo. Em áreas de florestas plantadas, a dinâmica do C no solo é particularmente complexa. O manejo florestal, a composição das espécies plantadas e as interações com o solo influenciam, significativamente, o estoque de carbono no solo. No plantio de espécies nativas de alta biodiversidade, a composição de espécies escolhidas para o reflorestamento influencia a dinâmica do sequestro do C no solo, podendo o acúmulo de C variar, anualmente, de 0,8 a 15 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ (Silver et al. 2000). O reflorestamento tem potencial de sequestrar de 52 a 104 Mg C ha⁻¹ dentro de um período de 50 anos e 70% das áreas com esse potencial ocorrem em latitudes tropicais (Silver et al. 2004). Em florestas secundárias tropicais, o valor de carbono acumulado no solo pode ser maior que 100 Mg C ha⁻¹ (Stucchi, 2013).

Durante estudos sobre a composição florística e estoque de carbono em áreas de recuperação da Mata Atlântica na bacia do rio Guapiaçu, em Cachoeiras de Macacu – RJ, Azevedo (2012) avaliou o estoque de carbono no solo (ECOS) até a profundidade de um metro, em três áreas de reflorestamento (3, 5 e 7 anos) com fins de restauração ecológica e uma pastagem adotada como controle (Tempo 0). Os valores encontrados foram: 213,46 Mg.ha⁻¹ (Pastagem - tempo 0); 236,46 Mg.ha⁻¹ (Reflorestamento – 7 anos); 97,15 Mg.ha⁻¹ (5 anos) e 83,62 Mg.ha⁻¹ (3 anos).

Similarmente, em um estudo conduzido em Pindorama (SP), Siqueira (2017) avaliou a implantação de um sistema agroflorestal (SAF) de 6 anos, composto por 33 espécies arbóreas, sendo 30 nativas intercaladas com três espécies de interesse produtivo (seringueira, acerola e urucum). Foram calculados os ECOS até um metro de profundidade para três tratamentos formados a partir das diferentes práticas de manejo na implantação do SAF e, um fragmento de floresta estacional semidecidual utilizado como referência. Os tratamentos experimentais foram: SAF1 (Roçadeira, covas, 3 m x 2 m, 300 g/cova de calcário, 200 g/cova de superfosfato simples); SAF2 (Herbicida, covas, 3,5 m x 2,0 m, milho entrelinhas, 2 Mg ha⁻¹ de calcário e, 2 Mg ha⁻¹ de torta de filtro, 300 kg ha⁻¹ de NPK 8/28/16); SAF3 (Arado, grade, sulcos, 3,5 m x 2 m, milho entrelinhas e adubação similar ao SAF2). Os valores de ECOS foram: 84,82 Mg ha⁻¹ (referência); 66,41 Mg ha⁻¹ (SAF1); 69,28 Mg ha⁻¹ (SAF2) e 67,96 Mg ha⁻¹ (SAF3).

Com o objetivo de realizar estimativas do estoque de biomassa e carbono do solo e da serrapilheira em área sob vegetação nativa remanescentes, Silva (2018) calculou os ECOS à 100 cm de profundidade a partir de 18 unidades amostrais nas Fazendas Lageado e Edgardia (Botucatu, SP). Sendo elas divididas em diferentes fitofisionomias: Mata Ciliar Primária (MC1), Mata Ciliar Secundária (MC2), Floresta Estacional Semidecidual Primária (FES1), Floresta Estacional Semidecidual Secundária (FES2) e Cerradão. Os ECOS até um metro de profundidade foram: 300,20 C t.ha⁻¹; 297,38 C t.ha⁻¹; 177,83 C t.ha⁻¹; 127,09 C t.ha⁻¹ e 99,15 C t.ha⁻¹ respectivamente.

O presente estudo faz parte do Projeto Carbono Zero, do Instituto de Floresta da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), que está em vigor desde 2019. O projeto teve por objetivo inventariar e neutralizar as emissões de gases que causam efeito estufa (GEE), geradas no decorrer da organização e realização dos Eventos Sudeste PET e Semana Acadêmica de Engenharia Florestal realizados no ano de 2019 no campus de Seropédica da UFRRJ. Um inventário de GEE é a contabilização da emissão de todas as fontes definidas em grupos de atividades associadas a uma atividade, processo, organização, setor econômico, cidade, estado ou até mesmo de um país, seguida da quantificação, monitoramento e registro dessas emissões (BRIANEZI et al., 2014). Todas as emissões geradas pelas atividades durante os eventos com transporte, resíduos sólidos, energia elétrica e outras fontes foram quantificados. Ao final os valores das emissões são convertidos em toneladas de CO₂ e então é quantificado o número de árvores que devem

ser plantadas para que as emissões dos eventos sejam neutralizadas. A neutralização foi realizada com reflorestamento de nove espécies nativas de Mata Atlântica no campo experimental do Instituto de Floresta, em Seropédica (RJ) em dezembro de 2019. Após o plantio, foram realizados apenas tratos culturais manuais (roçada) para controle de gramíneas e redução de mato competição.

O objetivo do presente estudo foi avaliar o estoque de carbono no solo, assim como da fração lábil da matéria orgânica do solo, em área de reflorestamento com espécies nativas de Mata Atlântica, visando a neutralização de carbono, em Seropédica (RJ).

MATERIAIS E MÉTODOS

Localização da área de estudo

O experimento foi conduzido em uma área de reflorestamento, pertencente ao Instituto de Floresta na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (Figura 1). O clima da região é do tipo Aw da classificação de Köppen e caracteriza-se pela ocorrência de chuvas frequentes e temperaturas elevadas no verão, enquanto o inverno é pouco rigoroso e geralmente seco (KOPPEN, 1948). As médias anuais são 24°C e de 1.213 mm de temperatura média e precipitação pluvial, respectivamente (CARVALHO et al., 2006).

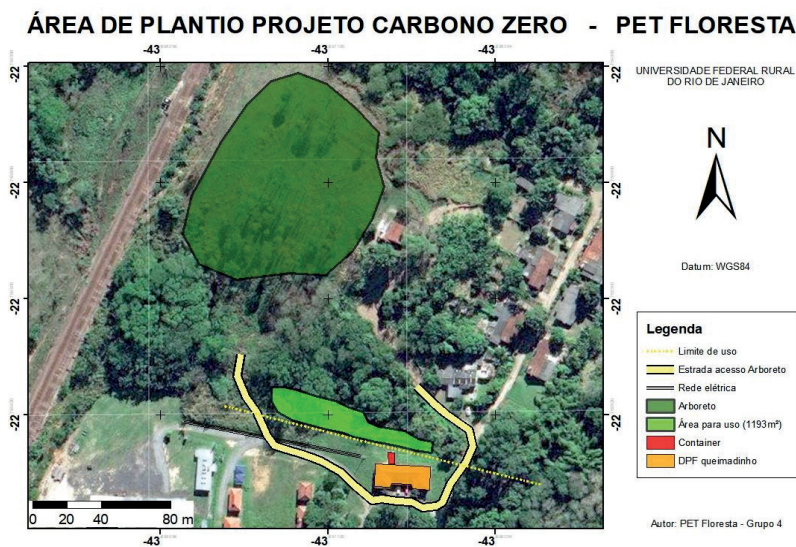


Figura 1: Localização da área de estudo.

Fonte: Pet-Floresta (2019).

O local de estudo compreende uma área de povoamento florestal, resultado de um projeto de neutralização de gases de efeito estufa, implantado a 4 anos. O reflorestamento considerou um horizonte de dez anos para a neutralização das emissões, no qual foram introduzidas mudas de 120 indivíduos de 9 espécies florestais nativas da Mata Atlântica: caixa-mirim (*Spondias mombin*); mamão-jacaratiá (*Jacaratia spinoda*); garapa (*Apuleia leiocarpa*); vinhático-de-espinho (*Chloroleucon tortum*); algodão -da-praia (*Taliparati pernambucense*); quaresmeira (*Tibouchina granulosa*) trema (*Trema micranta*); angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina*) e ipê-felpudo (*Zeyheria tuberculosa*); capim colônia (*Panicum maximum*).

Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (SANTOS et al, 2018), o solo da área experimental foi classificado como Planossolo com formação geológica do complexo Paraíba do Sul, sendo o material originário sedimentar. Quanto a pedregosidade e rochoso, o solo foi classificado como não pedregoso e não rochoso. O relevo local foi classificado como plano, com erosão não aparente e imperfeitamente drenado. A vegetação primária foi classificada como floresta subtropical subcaducifólia.

Coleta das amostras de terra

O monitoramento do C segue a metodologia proposta pela FAO (*Food and Agriculture Organization*), através do Protocolo de Medição, Relato e Verificação (MRV) (FAO, 2020). Além de medir a quantidade de carbono armazenada, busca-se compreender os mecanismos responsáveis pelo armazenamento de carbono no solo, o que é fundamental para o desenvolvimento de estratégias eficazes de manejo florestal e de mitigação dos GEE.

Para a coleta das amostras de terra, após a delimitação dos pontos de amostragem, foram abertas três trincheiras na área de estudo, com a demarcação de suas respectivas coordenadas geográficas. As trincheiras foram abertas nas seguintes medidas: 1,2 de profundidade x 1,2 de largura x 1,5 m de comprimento. Foram coletadas amostras de terra nas seguintes profundidades: 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm (Figura 2).



Figura 2: Trincheira aberta para a retirada das amostras de terra.

Fonte: Autoria própria (2023).

A fim de coletar as amostras de terra indeformadas, em cada profundidade foram inseridos anéis de *Kopecky*, sendo estes retirados com o auxílio de uma faca pedológica da maior para a menor profundidade. O excesso de terra ao redor do anel foi retirado e o conteúdo do seu interior, transferido para sacos plásticos identificados para determinação da densidade do solo.

Também foram coletadas amostras de terra deformadas nas quatro paredes do perfil, formando uma amostra composta, em cada profundidade avaliada. Essas amostras foram homogeneizadas e armazenadas em sacos plásticos, devidamente identificados.

As amostras deformadas foram dispostas em bancadas no onde foram secas ao ar (Figura 3A). Posteriormente, as amostras foram destorroadas (Figura 3B), tamisadas em peneiras com malha de 2,0 mm de abertura e armazenadas em sacos plásticos para a realização das análises do conteúdo de carbono orgânico e do fracionamento físico da matéria orgânica do solo.

Determinação da densidade do solo

O conteúdo dos sacos plásticos contendo as amostras indeformadas de terra, que foram coletadas com o auxílio do anel de Kopecky, foi transferido para cadinhos de alumínio previamente pesados. Os cadinhos foram dispostos em estufa com temperatura de 105°C, por 48 horas e, após esse período foram pesados para a obtenção da massa seca de solo.

O cálculo de densidade do solo foi realizado da seguinte forma:

$$DS = \frac{Ms}{Vt} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

DS - densidade do solo, em g/cm³

Ms – massa do solo seco, em g

Vt – volume total, em cm³

Determinação dos teores de carbono orgânico no solo

A análise do conteúdo de carbono orgânico no solo foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Yeomans & Bremner (1988).

Fracionamento físico da matéria orgânica do solo

Visando o fracionamento físico da matéria orgânica do solo foi feito o método densimétrico utilizando a metodologia proposta por Sohi et al. (2001) com modificações. Primeiro, em um tubo falcon, foi adicionado 5 g de terra das amostras coletadas nas seguintes profundidades 0-5, 5-10, 10-20, 20-30 cm. Depois, foram acrescentados 35 ml de água destilada em cada tubo. O tubo foi levemente agitado até o solo se destacar do seu fundo, sendo o material deixado em descanso por uma noite. Após o tempo decorrido, com auxílio de um sistema de filtração da Millipore, foi iniciada a sucção do material sobrenadante, fração leve livre (FLL), com auxílio de uma bomba de vácuo, sendo o mesmo depositado sobre um papel de filtro Whatman. Através da diferença da massa seca do filtro e da FLL e da massa seca do filtro foi determinada a massa seca de FLL (g kg⁻¹) (Figura 7).



Figura 3: Detalhe da fração leve livre, nas camadas avaliadas, na área florestal em Seropédica, RJ.

Fonte: Autoria própria (2023).

Determinação do estoque de carbono no solo

O estoque de carbono no solo é determinado pelo produto da densidade do solo (Mg m^{-3}), teor de carbono orgânico (g kg^{-1}) e da espessura da camada avaliada (m) (Bernoux et al., 2002). O ECOS pode ser representada pela seguinte equação:

$$\text{ECOS} = (\text{C} \times \text{D} \times \text{E}) \times 10 \quad \text{(Equação 2)}$$

Onde:

ECOS – estoque de carbono (Mg ha^{-1})

C – teor de C orgânico (Mg kg^{-1})

D – densidade do solo (Mg m^{-3})

E – espessura da camada considerada (m)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A densidade do solo apresentou valores que variaram entre 1,20 e 1,70 Mg/m^3 , com um aumento dos valores em profundidade e um rápido decréscimo na profundidade 40-60 cm (Figura 8). Esse decréscimo dos valores da densidade do solo em profundidade difere do usual observado na literatura. Acredita-se que uma possível explicação para esse comportamento seja de caráter antrópico, já que durante a amostragem do solo foram encontrados diversos artefatos humanos (cerâmicas), o que nos leva a acreditar que possa ter havido aterramento no passado. Dessa forma, o aterramento do horizonte A pode estar contribuindo com o alto teor de C nas camadas de 30-40 cm. Como resultado, a adição de

matéria orgânica em profundidade está contribuindo para a redução da densidade do solo. É importante ressaltar que a MOS contribui para melhoria das propriedades físicas do solo. A redução dos valores de densidade do solo é devido a formação de agregados do solo, mediada pela ação da matéria orgânica.

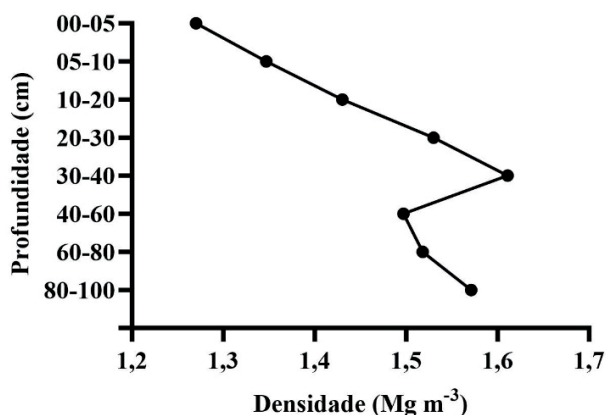


Gráfico 1: Densidade do solo numa área sob reflorestamento com espécies florestais em Seropédica (RJ).

Fonte: Autoria própria (2020).

Ao relacionar os resultados de densidade do solo obtidos nesse estudo em relação aos demais trabalhos na literatura, destaca-se o estudo de Carvalho et al. (2004) que ao avaliar o efeito do manejo de um SAF de 6 anos, localizado no Parque Rural em Brasília (DF), num Latossolo Vermelho, observou os seguintes valores de densidade do solo: 0,84; 0,87; 0,96 e 0,97 g cm⁻³, para as profundidades de 0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm, respectivamente. Lima et al. (2008) avaliaram a densidade do solo num Planossolo Háplico, sob campo nativo em Capão do Leão (RS), e observaram valores de 1,29, 1,48, 1,57, 1,54 e 1,48 Mg.cm⁻³ para as profundidades 0-2.5; 2.5-7.5; 7.5-12.5; 12.5-17.5 e 17.5-27.5 cm, respectivamente.

A matéria orgânica do solo, viva e morta, está diretamente relacionada com a qualidade do solo, sendo verificada por sua influência nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Assim, a MOS é o principal agente de formação e estabilização dos agregados em solos tropicais, sendo, portanto, um fator chave e indicador da qualidade do solo. Em solos muito intemperizados, com o predomínio de cargas positivas, a MOS contribui com cargas negativas que atuarão como agentes ligantes (Cunha et al., 2015). A MOS, também colabora quimicamente através da adsorção de cátions, fertilidade e complexação de metais (Pinheiro, 2002; Schnitzler, 1991). As raízes também possuem influência na agregação do solo, agindo em ambas as etapas, atuando na aproximação das

partículas em função da força mecânica exercida pelas raízes (Castro Filho et al., 1998). Somado a isso, a matéria orgânica atua como agente cimentante, devido a exsudação de compostos orgânicos que promovem a maior estabilidade e longevidade da estrutura do solo (TORMENA et al., 2023), refletindo na estruturação e, conseqüentemente, na redução da densidade do solo (VASCONCELOS et al., 2012; BARBOSA et al., 2020).

É possível observar que nas profundidades superficiais (0-20 cm), a densidade do solo apresentou valores menores em comparação a profundidade inferior (80-100 cm). Isso pode ser explicado pelo maior aporte de matéria orgânica na superfície do solo, consolidando o efeito da matéria orgânica na redução da densidade do solo.

É importante salientar que nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, o elevado conteúdo de C é devido ao aporte de serrapilheira, favorecendo o acúmulo de carbono no solo (Figura 9). O aterramento do horizonte A é, possivelmente, a explicação do aumento do C em profundidade (Figura 9).

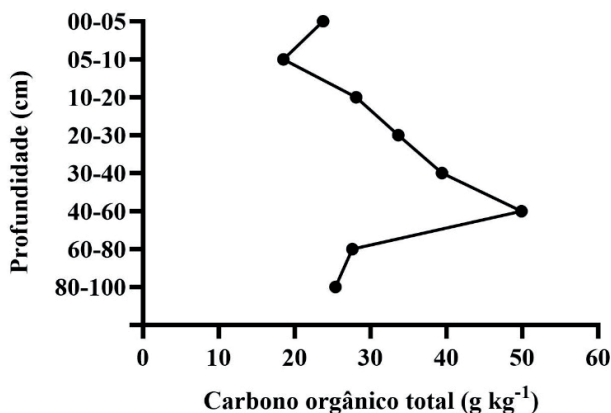


Gráfico 2: Conteúdo de carbono orgânico total em área sob reflorestamento de espécies florestais em Seropédica (RJ).

Fonte: Autoria própria (2020).

A MOS está presente no solo em diferentes estágios de decomposição, estando associada ou não à fração mineral do solo (Roscoe & Machado 2002). Em diferentes compartimentos, podendo apresentar diferentes velocidades de decomposição, dependendo da sua localização física no solo (Sohi et al. 2001) Ainda sendo possível dividi-la em compartimentos lábeis e estáveis (Passos et al. 2007). A maior parte da MOS estará associada às partículas minerais do solo, considerada um compartimento altamente resistente à transformação ou ao ataque microbiano (Stevenson, 1994; Feller & Beare 1997; Freixo et al. 2002). Com isso, pequena proporção da MOS, constituída principalmente por resíduos vegetais, pode estar livre denominada fração leve-livre (FLL). O C lábil está

relacionado com o material orgânico da FLL da matéria orgânica do solo (Maia et al. 2007). Os resultados mostraram que o aporte de FLL diminuiu 64% com aumento da profundidade do solo de 2,5 g kg⁻¹ (0-5 cm) para 0,9 g kg⁻¹ (5-10 cm), fator esperado em virtude do aporte de material orgânico se concentrar mais na superfície do solo. Para a profundidade 80-100 cm o valor da FLL foi igual a zero. Esta é uma fração constituída de restos vegetais, resíduos microbianos e microfauna, contribuindo para que ocorra uma rápida taxa de transformação do carbono, motivo ao qual é muito utilizada como indicadora de qualidade do solo para avaliar os sistemas de manejo do solo (PINHEIRO et al., 2004).

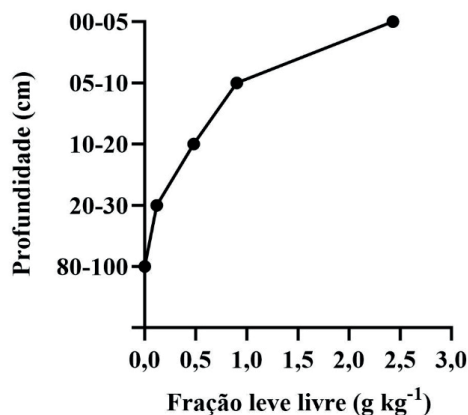


Gráfico 3: Aporte de fração leve livre (g kg⁻¹) da matéria orgânica do solo em área sob reflorestamento de espécies florestais, em Seropédica (RJ).

Fonte: Autoria própria (2020).

O comportamento da FLL no perfil do solo é influenciado pela composição química do resíduo aportado ao solo, pela disponibilidade do substrato, por aspectos climáticos (umidade e temperatura) e, principalmente, pelo manejo adotado (Faustino, 2014). As plantações florestais caracterizam-se pelo aporte significativo de material vegetal sobre o solo (Gama-Rodrigues et al. 2018), que por definição representam a fração lábil (Chan et al. 2001, Faustino 2014). Isso explica o valor mais elevado nas camadas mais superficiais. Outro fator que pode ter influenciado a redução da FLL em profundidade é a menor quantidade de raízes finas e maior quantidade de raízes suberizadas, o que reduz o incremento de biomassa vegetal no solo e aumenta o nível de recalitrância do C. Rangel e Silva (2007) estudando frações orgânicas em diferentes sistemas de uso e manejo (mata nativa, eucalipto, pinus, pastagem e milho), observou valores de FLL de: 3,5; 5,1; 4,6; 1,0; 0,5; 0,3 g kg⁻¹, para a profundidade de 0-5 cm e 5,8; 2,3; 2,5; 1,0; 0,2 e 0,3 g kg⁻¹, para a profundidade de 0-10 cm, respectivamente. A decomposição é uma variável influenciada por diversos fatores, tais como as condições climáticas, que podem acelerar

esse processo através da umidade do solo, já que a decomposição é paralela ao aumento da umidade, aumentando a fauna de microrganismos decompositores no solo (BOER et al., 2008; PETRAGLIA et al., 2019). O que contribui para uma outra explicação para a menor participação da FLL em profundidade. Roscoe & Machado (2002) explica que, em função do único mecanismo de proteção dessa fração ser a recalcitrância dos seus materiais constituintes, a FLL torna-se mais disponível para a microbiota que a fração pesada da MOS. É usual em trabalhos que estudam a FLL do solo, que sua quantificação ocorra apenas nas camadas mais superficiais do solo (0-5 e 5-10 cm de profundidade), em função do que foi citado acima, porém no presente trabalho foi tomada a decisão de se realizar a quantificação até a profundidade de um metro, a fim de observar o comportamento citado na literatura.

O estoque de carbono orgânico do solo na área sob reflorestamento foi de 143,38 Mg ha⁻¹, na camada de 0-40 cm. Esse valor corresponde à 58% do C estocado até 100 cm (246,28 Mg ha⁻¹). Esses resultados destacam a importância do manejo florestal em preservar o carbono no solo. Adicionalmente, é um alerta para que não haja nenhum manejo inadequado do solo porque o efeito do manejo é maior na camada superficial onde a maior parte do C está estocado no solo. A adição de matéria orgânica na camada superficial e subsuperficial do solo, a presença de vegetação rasteira e da implantação de uma maior diversidade de plantas na área sob reflorestamento devem ter contribuído com esse resultado. (Figura 11). A área de estudo é povoada por uma vegetação rasteira diversificada e foi implementado o plantio de nove diferentes espécies de arbóreas da Mata Atlântica que adicionam diferentes quantidades de matéria orgânica por superfície e subsuperfície. Os estudos apontam que uma alta diversidade de plantas numa mesma área, associada a presença de raízes em profundidade, pode favorecer o armazenamento de C. Isso ocorre devido a absorção do carbono por parte dos microrganismos presentes na rizosfera, principalmente, em condições de elevada diversidade de plantas, tendo em vista que elas liberam maiores quantidades de exsudatos para os microrganismos, contribuindo para o aumento do consumo e armazenamento do carbono (LANGE et al., 2015).

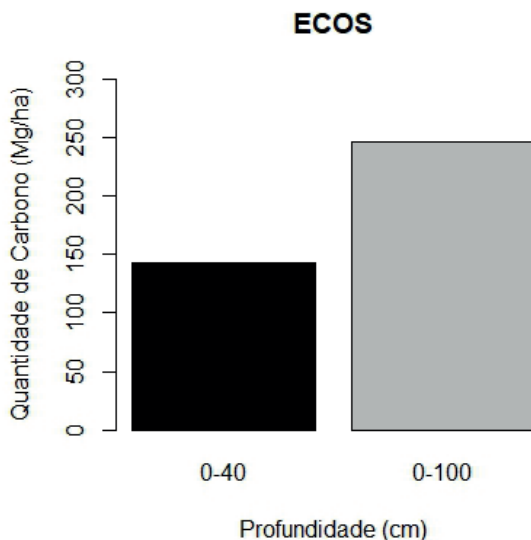


Gráfico 4: Estoque de carbono no solo sob reflorestamento de espécies florestais, nas camadas de 0-40 cm e 0-100 cm, em Seropédica (RJ).

Fonte: Autoria própria (2020).

Os valores de ECOS observados durante o estudo estão condizentes com a literatura. Vicente et al. (2016) em uma área reflorestada em Minas Gerais sobre as mesmas condições climáticas do Estado do Rio de Janeiro, com clima Aw. Os valores em área reflorestada com seringueira após três anos, obteve estoque de carbono de $219,34 \text{ Mg ha}^{-1}$ em 1 m de profundidade, valor próximo ao encontrado no estudo de $246,28 \text{ Mg ha}^{-1}$. Com quatro anos de reflorestamento, a área de estudo apresenta elevados valores de estoque de carbono, possivelmente, a diversidade de plantas utilizada no reflorestamento da área está beneficiando o acúmulo de carbono no solo. A presença de gramíneas (capim colômbio) também pode estar contribuindo com o valor elevado de estoque de carbono no solo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O reflorestamento com diferentes espécies arbóreas de mata Atlântica, mesmo em curto período de implementação, refletiu em resultados positivos nas propriedades físicas e químicas do solo avaliadas. A presença de gramíneas também pode estar contribuindo com os altos valores de estoque de carbono no solo na área sob reflorestamento. O aporte de fração leve livre refletiu em elevados teores e estoques de carbono no solo na camada superficial (0-40 cm), que é o sítio onde estão estocados 58% do carbono nos primeiros 100 cm de profundidade. A recomendação é de que não haja mudança no uso da terra na área reflorestada para um manejo inadequado do solo visando a manutenção do carbono no solo e, conseqüentemente, a qualidade do solo com a maturidade do sistema florestal.

REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, A. D. **Composição florística e estoque de carbono em áreas de recuperação da Mata Atlântica na bacia do rio Guapiaçu, Cachoeiras de Macacu, RJ.** Dissertação. (Mestre em ciências na área de concentração em Conservação da Natureza) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2012. Disponível em: <<https://rima.ufrjr.br/jspui/handle/20.500.14407/11295>>. Acessado em: Mar. 2024.
- BARBOSA, T. C. S. *et al.* **Qualidade física do solo em áreas sob manejo agroecológico e convencional.** Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 7, p. 48899-48909, 2020.
- BARRETO, P. A. B. *et al.* **Atividade microbiana, carbono e nitrogênio da biomassa microbiana em plantações de eucalipto, em seqüência de idades.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, p. 611-619, 2008.
- BERNOUX, M. *et al.* **Brazil's soil carbon stocks.** Soil Science Society of America Journal, v. 66, n. 3, p. 888-896, 2002.
- BOER, C. A. *et al.* **Biomassa, decomposição e cobertura do solo ocasionada por resíduos culturais de três espécies vegetais na região Centro-Oeste do Brasil.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, p. 843-851, 2008.
- CARVALHO, R.; GOEDERT, W. J.; ARMANDO, M. S. *et al.* **Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 39, p. 1153-1155, 2004.
- CARVALHO, D. F.; SILVA. *et al.* **Avaliação da evapotranspiração de referência na região de Seropédica-RJ, utilizando lisímetro de pesagem.** Revista Brasileira de Agrometeorologia, v. 14, n. 2, p. 108-116, 2006.
- CASTRO FILHO, C. de; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. **Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 22, p. 527-538, 1998.
- CERRI, C. C. *et al.* **Estoques de carbono e nitrogênio no solo devido a mudança do uso da terra em áreas de cultivo de café em minas gerais.** 2017.
- CERRI, C.C. *et al.* **Emissão de CO₂ pelos solos devido às mudanças no uso da terra e manejo.** In: www.mct.gov.br/clima/comunic_old/solo.htm, Centro de Energia Nuclear na Agricultura- CENA-USP, 1999.
- CHAN, K. Y.; BOWMAN, A.; OATES, A. **Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an oxic paleustalf under different pasture leys.** Soil science, v. 166, n. 1, p. 61-67, 2001.
- COTRUFO, M. F.; LAVALLEE, J. M. **Soil organic matter formation, persistence, and functioning: A synthesis of current understanding to inform its conservation and regeneration.** Advances in agronomy, v. 172, p. 1-66, 2022.
- CUNHA, T. J. F.; MENDES, A. M. S.; GIONGO, V. **Matéria orgânica do solo.** 2015.
- DALAL, R. C. *et al.* **Long-term land use change in Australia from native forest decreases all fractions of soil organic carbon, including resistant organic carbon, for cropping but not sown pasture.** Agriculture, Ecosystems & Environment, v. 311, p. 107326, 2021.

DAVIDSON, E. A. *et al.* **The Amazon basin in transition.** Nature, v. 481, n. 7381, p. 321-328, 2012.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo.** 2. ed. Brasília, 1997. 212p.

FAO. *Food and Agriculture Organization.* 2020. **A protocol for measurement, monitoring, reporting and verification of soil organic carbon in agricultural landscapes – GSOC-MRV Protocol.** Rome.

FAUSTINO, L. L. **Frações do Carbono Oxidável em Solos sob Diferentes Leguminosas Florestais no Norte Fluminense.** Março de 2014. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.

FELLER, C.; BEARE, M. H. **Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics.** Geoderma, v. 79, n. 1-4, p. 69-116, 1997.

FREIXO, A. A.; CANELLAS, L. P.; MACHADO, PLO de A. **Propriedades espectrais da matéria orgânica leve-livre e leve intra-agregado de dois Latossolos sob plantio direto e preparo convencional.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 26, p. 445-453, 2002.

GAMA-RODRIGUES, E. F. *et al.* **Atributos físicos, químicos e microbiológicos dos solos sob diferentes usos em topossequências no Noroeste Fluminense.** Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v. 13, n. 3, p. 1-9, 2018.

IPCC. *Intergovernmental Panel on Climate Change.* Resumo para formuladores de políticas. In: **Mudança Climática e Terra: um relatório especial do IPCC sobre mudança climática, desertificação, degradação da terra, gestão sustentável da terra, segurança alimentar e fluxos de gases de efeito estufa em ecossistemas terrestres.** 2019. 41p.

KÖPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra.** México: Fondo de Cultura Económica, 1948. 478 p.

LAL, R. **Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security.** Science, v. 304, n. 5677, p. 1623–1627, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.1097396>

LANGE, M. *et al.* **Plant diversity increases soil microbial activity and soil carbon storage.** Nature communications, v. 6, n. 1, p. 6707, 2015.

LIMA, C. L. R. de. *et al.* **Atributos físicos de um Planossolo Háplico sob sistemas de manejo comparados aos do campo nativo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, p. 1849-1855, 2008.

MAIA, S. M. F. *et al.* **Organic carbon pools in a Luvisol under agroforestry and conventional farming systems in the semi-arid region of Ceará, Brazil.** Agroforestry systems, v. 71, p. 127-138, 2007.

MINASNY, B. *et al.* **Soil carbon 4 per mille.** Geoderma, v. 292, p. 59-86, 2017.

PASSOS, R. R. *et al.* **Substâncias húmicas, atividade microbiana e carbono orgânico lábil em agregados de um Latossolo Vermelho distrófico sob duas coberturas vegetais.** Revista Brasileira de Ciência do solo, v. 31, p. 1119-1129, 2007.

PETRAGLIA, A. *et al.* **Litter decomposition: effects of temperature driven by soil moisture and vegetation type.** Plant and Soil, v. 435, p. 187-200, 2019.

- PINHEIRO, E. F. M. **Frações orgânicas e agregação em Latossolo em função de sistemas de preparo do solo de oleráceas em Paty do Alferes, RJ.** Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2002. 65p. Tese de Doutorado. Tese de Mestrado.
- PINHEIRO, E. F. M. *et al.* **Fracionamento densimétrico da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo e cobertura vegetal em Paty do Alferes (RJ).** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 28, p. 731-737, 2004.
- PREISKORN, G. M. **Composição florística, estrutura e quantificação do estoque de carbono em florestas restauradas com idades diferentes.** 2011. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado em Recursos Florestais. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP, Piracicaba, SP.
- RAESI, F. **The quantity and quality of soil organic matter and humic substances following dry-farming and subsequent restoration in an upland pasture.** Catena, 202 (2021)
- RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A. **Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 31, p. 1609-1623, 2007.
- REBOITA, M. S. *et al.* **Climate projections for South America: RegCM3 driven by HadCM3 and ECHAM5.** Advances in Meteorology, v. 2014, p. 1-17, 2014.
- ROSCOE, R.; MACHADO, PLO de A. **Fracionamento físico do solo em estudos de matéria orgânica.** 2002.
- SANTOS, H. G. dos. *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.
- SANQUETTA, C. R. *et al.* **Estoque de biomassa e carbono em pastagens cultivadas no norte de Rondônia.** BIOFIX Scientific Journal, v. 5, n. 1, p. 102-107, 2020.
- SILVA, J. P. da. **Estoque de carbono e nutrientes no solo e na serapilheira sob remanescentes de vegetação nativa.** 2018.
- SILVER, W. L.; OSTERTAG, R.; LUGO, A.I E. **The potential for carbon sequestration through reforestation of abandoned tropical agricultural and pasture lands.** Restoration ecology, v. 8, n. 4, p. 394-407, 2000.
- SILVER, W. L. *et al.* **Carbon sequestration and plant community dynamics following reforestation of tropical pasture.** Ecological Applications, v. 14, n. 4, p. 1115-1127, 2004.
- SIQUEIRA, C. C. Z. **Atributos do solo e estoques de carbono em sistemas agroflorestais na restauração de áreas degradadas.** 2017. Tese de Doutorado. Instituto Agrônômico.
- SCHNITZER, M. **Soil organic matter—the next 75 years.** Soil science, v. 151, n. 1, p. 41-58, 1991.
- SOHI, S. P. *et al.* **A procedure for isolating soil organic matter fractions suitable for modeling.** Soil Science Society of America Journal, v. 65, n. 4, p. 1121-1128, 2001.
- SCHARLEMANN, J. P. *et al.* **Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool.** Carbon Management, 5(1), 81–91, 2014.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. John Wiley & Sons, 1994.

STUCCHI, G. B. **Estimativa dos estoques de carbono na parte aérea de reflorestamentos de espécies nativas e remanescentes florestais**. 2013. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado-Universidade de São Paulo, São Paulo, 78p.

TORMENA, C.A. *et al.* **Relações da matéria orgânica com atributos físicos de solos de regiões subtropicais e tropicais brasileiras**. IN: SILVA, Carlos Alberto 31 *et al.* **Matéria orgânica do solo: ciclo, compartimentos e funções. Entendendo a matéria orgânica do solo em ambientes tropical e subtropical**. Wagner Bettiol, p. 17, 2023.

VASCONCELOS, R. F. B. *de. et al.* **Compactabilidade de um Latossolo Amarelo distrocoeso dos tabuleiros Costeiros de Alagoas sob diferentes sistemas de manejo da cana-de-açúcar**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 36, p. 537-545, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000200023>.

VICENTE, L. C.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C. **Soil carbon stocks of Ultisols under different land use in the Atlantic rainforest zone of Brazil**. Geoderma Regional, v. 7, n. 3, p. 330-337, 2016.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 19:1467-1476, 1988.

PARCELAMENTO DE SOLUÇÃO NUTRITIVA NA CULTURA DO RABANETE EM SISTEMA SEMI-HIDROPÔNICO

Data de submissão: 15/07/2024

Data de aceite: 01/08/2024

Gersone Hilgert de Oliveira

Universidade do Estado de Mato Grosso
Nova Xavantina – Mato Grosso

Everton Martins Arruda

Universidade do Estado de Mato Grosso
Nova Xavantina – Mato Grosso

Manoel Euzébio de Souza

Universidade do Estado de Mato Grosso
Nova Xavantina – Mato Grosso

Marcos Paulo dos Santos

Instituto Federal de Mato Grosso do Sul
Nova Andradina – Mato Grosso do Sul

Risely Ferraz Almeida

Universidade do Estado da Bahia
Conceição do Coité – Bahia

Silvan Gomes de Brito

Universidade do Estado da Mato Grosso
Alta Floresta – Mato Grosso

Dhiego César Oliveira Riva Neto

Universidade Estadual Paulista
Ilha Solteira – SP

RESUMO: O rabanete (*Raphanus sativus* L.) é uma cultura que vem sendo bastante cultivada no estado de Mato Grosso devido apresentar alta adaptação as condições climáticas tropicais locais. Entretanto, o cultivo desta olerícola em sistema semi-hidropônico necessita de estudos, principalmente em relação a aplicação da solução nutritiva, buscando o melhor uso dos nutrientes e o máximo desempenho das plantas. Desta forma, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o crescimento e a produtividade do rabanete em função do parcelamento da aplicação de solução nutritiva em sistema semi-hidropônico. A pesquisa foi realizada na propriedade rural Hidroponia Ouro Verde, Água Boa, Mato Grosso. O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso, sendo quatro tratamento e seis repetições. Os tratamentos foram constituídos pelo parcelamento da aplicação de solução nutritiva, sendo: T1. Fertirrigação três vezes ao dia com 130 ml de solução; T2. Fertirrigação duas vezes ao dia com 195 ml de solução; T3. Fertirrigação uma vez ao dia com 390 ml de solução; T4. Testemunha (somente água). Foram avaliados o número de folhas, a altura de plantas, a biomassa verde da parte aérea, a biomassa seca da parte aérea, a biomassa

de raiz e a produtividade de raízes de rabanete. O parcelamento da aplicação da solução nutritiva deve ser realizado duas ou três vezes por dia para aumentar o crescimento e a produtividade de rabanetes em sistema semi-hidropônico.

PALAVRAS-CHAVE: *Raphanus sativus*; Olerícolas; Adubação parcelada.

INSTALLMENT OF NUTRITIONAL SOLUTION IN THE CROP OF RADISH IN A SEMI-HYDROPONIC SYSTEM

ABSTRACT: Radish (*Raphanus sativus* L.) is a crop that has been widely cultivated in the state of Mato Grosso due to its adaptation to tropical climate conditions. However, the cultivation of this vegetable crop in a semi-hydroponic system requires studies, mainly in relation to the application of the nutrient solution in order to provide the best performance of the plants. Therefore, the objective of this research was to evaluate the growth and productivity of radish depending on the split application of nutrient solution in a semi-hydroponic system. The research was carried out in the rural property Hidroponia Ouro Verde, in Água Boa, Mato Grosso. The experimental design was completely randomized, with four treatments and six replications. The treatments consisted of splitting the application of nutrient solution, being: T1. Fertigation three times a day with 130 ml of solution; T2. Fertigation twice a day with 195 ml of solution; T3. Fertigation once a day with 390 ml of solution; T4. Witness (water only). The number of leaves, plant height, green shoot biomass, dry shoot biomass, root biomass and radish root productivity were evaluated. The application of the nutrient solution should be divided into two or three times a day to increase the growth and productivity of radishes in a semi-hydroponic system.

KEYWORDS: *Raphanus sativus*; Vegetable crops; Split fertilization.

INTRODUÇÃO

O rabanete (*Raphanus sativus* L.) é uma cultura originária do Mediterrâneo e pertence à família Brassicaceae. É uma planta herbácea que possui raízes globulares, de coloração avermelhada e polpa branca, apresenta alto valor nutritivo e é consumida preferencialmente *in natura*, na forma de saladas (KRAMER, 2018).

A agricultura enfrenta desafios significativos à medida que a demanda por alimentos continua a crescer em ritmo acelerado. Em resposta a esses desafios, os sistemas de cultivo inovadores e sustentáveis estão emergindo como opções promissoras para atender às necessidades crescentes da população mundial. Um desses sistemas é o cultivo semi-hidropônico, que combina elementos da hidroponia e da agricultura em solo, oferecendo potencial para aumentar a produtividade e a eficiência no cultivo de hortaliças, incluindo o rabanete (ALVES, 2011).

No sistema semi-hidropônico as plantas são cultivadas em substratos inertes que retêm a umidade necessária e recebem uma solução nutritiva equilibrada diretamente nas raízes, permitindo um controle preciso das condições de cultivo (COSTA et al., 2020).

As soluções nutritivas nos cultivos hidropônicos fornecem os nutrientes necessários para as plantas diretamente da água de irrigação. Essas soluções são especialmente relevantes em ambientes de cultivo controlado, como estufas, onde a nutrição das plantas é monitorada de perto (CRUZ, 2018).

O monitoramento contínuo dos níveis de nutrientes na solução e a adaptação às necessidades das plantas ao longo do ciclo de crescimento são práticas essenciais. A qualidade da água, a temperatura e a aeração também desempenham um papel importante para nutrição adequada das plantas de rabanete (LEITE, 2007).

O equilíbrio dos nutrientes em uma solução nutritiva para os rabanetes é crucial, além do mais, a proporção adequada dos nutrientes pode variar de acordo com a fase de crescimento das plantas (CUSTÓDIO, 2014).

Os macronutrientes e os micronutrientes fornecidos via solução nutritiva podem ser ofertados nos canteiros em uma ou até várias vezes durante o dia em sistemas semi-hidropônicos. Entretanto, é importante investigar o melhor parcelamento da solução nutritiva em busca de proporcionar o melhor desempenho das plantas nestes ambientes de produção.

Desta forma, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o crescimento e a produtividade do rabanete em função do parcelamento da aplicação de solução nutritiva em sistema semi-hidropônico.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida com a cultura do rabanete no período de 28 setembro a 07 novembro de 2023, sendo realizada na Hidroponia Ouro Verde em sistema semi-hidropônico por meio de bancadas de areia, no município de Água Boa, estado de Mato Grosso (14°03'36"S e 52°09'40"W).

O clima predominante da região de acordo com a classificação de Köppen é o Aw tropical com inverno seco e verão chuvoso. A área de estudo possui 430 m de altitude, precipitação média anual de 2000 mm, com temperaturas mínimas e máximas anuais de 26 e 32°C, respectivamente.

Foi realizado análise do substrato de areia, sendo verificado no resultado as seguintes características: pH (H₂O) = 5,8; P (Mehlich I): 30,5 mg dm⁻³; K: 7,6 mg dm⁻³; S: 1 mg dm⁻³; Ca: 0,6 cmol_c dm⁻³; Mg: 0,1 cmol_c dm⁻³; Al³⁺: 0,0 cmol_c dm⁻³; H+Al: 1,1 cmol_c dm⁻³. A análise de textura do solo apresentou valores de argila, silte e areia de 21,4; 2,1 e 976,5 g kg⁻¹, respectivamente,

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente ao acaso (DIC), sendo quatro tratamentos e seis repetições. Os tratamentos foram constituídos pelo parcelamento da aplicação de solução nutritiva, sendo: T1) Fertirrigação três vezes ao dia com 130 ml de solução; T2) Fertirrigação duas vezes ao dia com 195 ml de solução; T3) Fertirrigação

uma vez ao dia com 390 ml de solução; T4) Testemunha (somente água). Para a solução nutritiva, foi utilizado 40 kg de up-ferro, 3 kg de sulfato de cálcio e sulfato de potássio, 3,5 kg de nitrato de magnésio e 1,5 kg de MAP. Sendo esses nutrientes utilizados para solução nutritiva dissolvidos em uma quantidade de 40.000 litros de água (reservatório).

A área experimental foi constituída por um canteiro (bancada) com areia, apresentando 13 m de comprimento e 1,10 m de largura, constituindo em uma área total do experimento de 14,3 m². A mesma foi subdividida em parcelas de 2 m de comprimento e 0,18 de largura, com quatro fileiras com os determinados tratamentos, parcelas de 2 m², apresentando 30 plantas por parcela.

Nas bancadas de areia foi realizado o controle de plantas daninhas, sendo realizado o plantio com espaçamento de 5 cm entre plantas, na profundidade de 3 cm, espaçamento entre fileiras 5 cm. Não foi necessário fazer correção da acidez do substrato, porque no mesmo já havia sido realizado a calagem.

Dois dias antes de ser realizado o plantio foi feita a limpeza da bancada, utilizando água pura. Como é realizada esta limpeza, no qual a limpeza consistiu através de tripas de irrigação, sendo ligadas no mínimo 1 hora, utilizando apenas água, com a finalidade de limpar toda bancada, retirando todos os nutrientes ali já estabelecidos de outras culturas.

A semeadura do rabanete foi realizada no dia 28 de setembro de 2023, período em que não ocorreram chuvas na região, sendo dois dias após a lavagem da bancada, onde foram semeadas em média 30 sementes em cada tratamento. A solução nutritiva foi aplicada através de um copo medidor, sendo aplicado a solução nutritiva entre duas fileiras de plantas da parcela, onde a irrigação iniciou no mesmo dia em que foi realizado o plantio.

No final do ciclo da cultura, aos 40 dias após a semeadura foi realizada a colheita das raízes tuberosas e as avaliações da parte aérea das plantas de rabanete. As plantas de rabanetes foram cortadas com auxílio de um canivete na base da planta. Desta forma, foram separados a parte aérea das raízes, essas raízes foram lavadas e secadas com auxílio de um pano e pesados em uma balança analítica, sendo assim quantificada a biomassa da raiz (gramas/planta).

A produtividade de raízes comerciais foi determinada pela pesagem da biomassa fresca das raízes (gramas/planta) das plantas dentro das parcelas, sendo descartadas as raízes com rachaduras e isoporizadas. Logo após, os dados foram extrapolados para produtividade de raízes em Mg por hectare.

A massa verde da parte aérea (MVPA) foi determinada pela pesagem em balança analítica. Também foram avaliados o número de folhas totais (NFT), determinados pela contagem direta em cada planta. Foi avaliado à altura de plantas (AP), com auxílio de uma régua, sendo medida da base da parte aérea até a extremidade final da maior folha, em centímetros.

Após essas avaliações, a parte aérea dos rabanetes foram submetidas à secagem em estufa com temperatura a 65°C, pelo período de 72 horas, até a obtenção da massa seca da parte aérea (MSPA), após a secagem foram avaliadas em balança analítica.

As análises estatísticas dos dados foram realizadas pela análise de variância (Teste F) e quando obtivemos resultados significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), utilizando o programa estatístico SISVAR (Sistema de análises estatísticas, versão 5,6) (FERREIRA, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O parcelamento da aplicação da solução nutritiva apresentou diferenças significativas para as avaliações de crescimento e produtividade na cultura do rabanete em sistema semi-hidropônico (Figura 1).

O número de folhas das plantas de rabanete apresentou resultados semelhantes em relação ao parcelamento da aplicação da solução nutritiva em uma, duas e três vezes por dia, sendo todos estes tratamentos superiores em relação à testemunha (Figura 1).

O parcelamento da aplicação da solução nutritiva na cultura do rabanete, especificamente para o número de folhas, não obteve respostas significativas, tendo apenas diferença estatística quando comparado com a testemunha, estes resultados podem estar relacionados devido à cultura do rabanete apresentar ciclo curto (ALMEIDA et al., 2018).

As práticas que promovem o crescimento radicular, como a adequada aplicação de nutrientes via solução nutritiva, podem ser mais cruciais para a produção de rabanetes de qualidade do que o aumento do número de folhas, no qual o número de folhas pode ser mais influenciado por fatores como genética da planta, densidade de plantio, temperatura, umidade e luz (LOPES, 2022).

O parcelamento da solução nutritiva em várias aplicações pode garantir uma oferta contínua de nutrientes essenciais durante todo o ciclo de cultivo, o que pode promover um crescimento mais uniforme das plantas, incluindo o aumento do número de folhas (HENZ; ALCANTARA, 2009).

A altura das plantas de rabanete foi superior com o parcelamento da solução nutritiva em três aplicações por dia quando comparado ao tratamento testemunha. Entretanto, o parcelamento da solução nutritiva em três, duas e uma vez por dia não apresentaram diferenças entre si (Figura 1).

A maior altura das plantas de rabanete no parcelamento da solução nutritiva em aplicações três vezes por dia (19,39 cm) em relação à testemunha (13,87 cm) pode ser explicada pelo fato dos nutrientes da solução, que por sua vez suprem as necessidades nutricionais das plantas em destaque para o nitrogênio, por exemplo, é um macronutriente fundamental para o crescimento vegetal, pois está envolvido na síntese de proteínas, na formação de clorofila e no metabolismo celular (ARTUR et al., 2021).

O potássio também desempenha um papel importante no crescimento das plantas, influenciando a regulação osmótica, a absorção de água e a fotossíntese (PACHECO et al., 2021). O fornecimento da solução nutritiva com maior frequência durante o dia pode fornecer uma quantidade adequada de potássio às plantas de rabanete, o que também pode contribuir para o aumento da altura.

A biomassa verde da parte aérea das plantas de rabanete apresentou resultados semelhantes em relação ao parcelamento da aplicação da solução nutritiva em uma, duas e três vezes por dia, sendo todos estes tratamentos superiores em relação à testemunha (Figura 1).

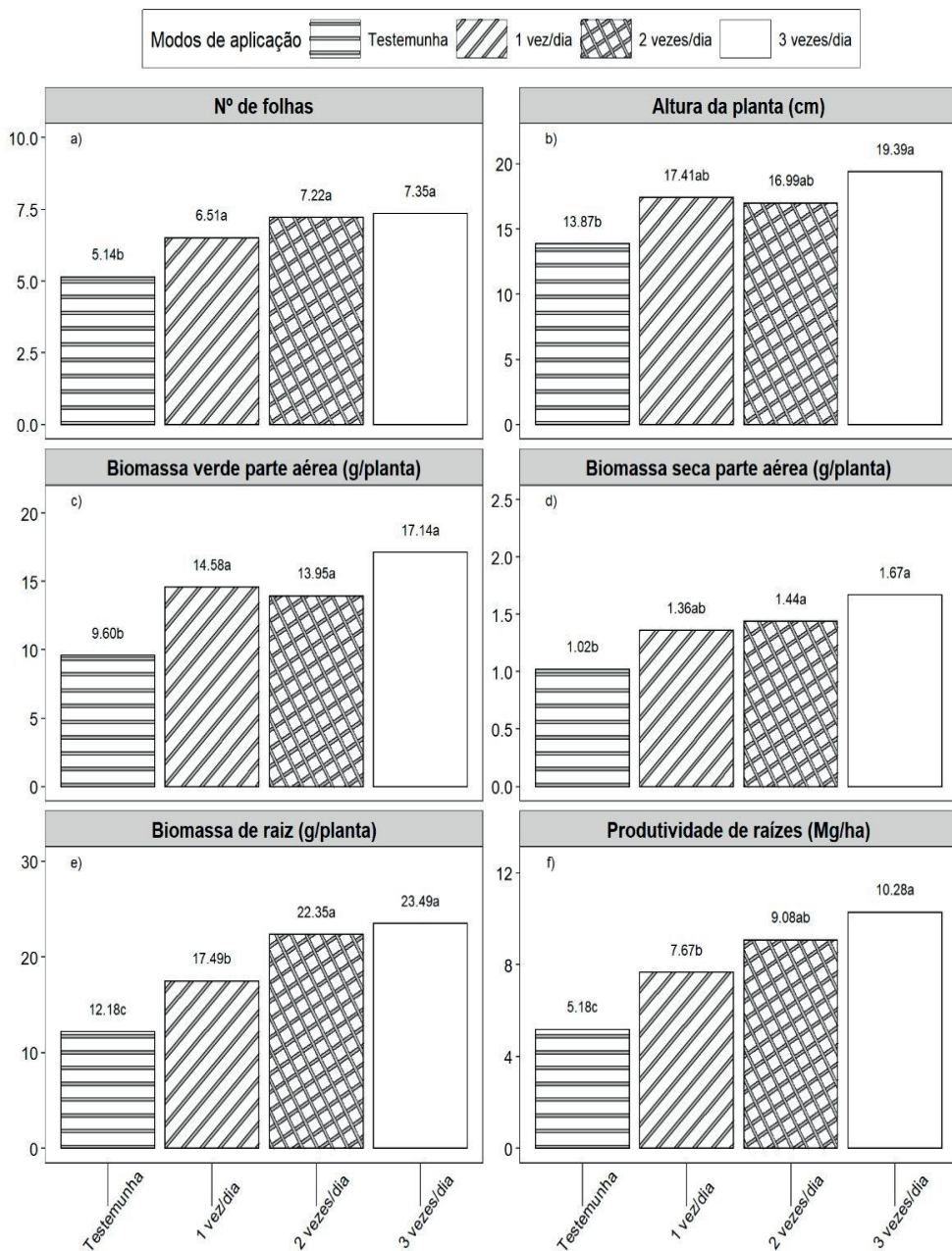


Figura 1. Crescimento e produtividade de rabanete em função do parcelamento da aplicação da solução nutritiva em sistema semi-hidropônico, no município de Água Boa - MT, 2023.

A biomassa seca da parte aérea das plantas de rabanete foram superiores com o parcelamento da solução nutritiva em duas e três aplicações por dia quando comparado ao tratamento testemunha. Entretanto, os parcelamentos da solução nutritiva em três, duas e uma vez por dia não apresentaram diferenças entre si (Figura 1).

O aumento da biomassa verde da parte aérea das plantas de rabanete no parcelamento da aplicação da solução nutritiva uma, duas e três vezes por dia podem ser atribuídos principalmente à disponibilidade de nutrientes essenciais para o crescimento vegetal. Quando fornecemos a solução nutritiva no sistema semi-hidropônico com maior frequência durante o dia, estamos possibilitando a disponibilidade desses elementos para as plantas (JUNIOR et al., 2008).

Taiz e Zeiger (2010), aborda como os nutrientes essenciais influenciam diferentes aspectos do crescimento das plantas, desde a divisão celular até a fotossíntese e a produção de metabólitos secundários, os mesmos destacam que uma nutrição adequada é essencial para o desenvolvimento das plantas.

Filgueira (2008) afirma que o incremento tanto da biomassa verde da parte aérea, quanto da biomassa seca é importante, pois, em hortaliças tuberosas se constata correlação direta e positiva entre o peso da parte aérea e a produtividade das raízes.

O parcelamento da aplicação da solução nutritiva em duas e três vezes por dia apresentaram maiores valores de biomassa de raiz para cultura do rabanete, sendo valores de 22,35 e 23,49 g planta⁻¹, respectivamente. A aplicação de solução nutritiva uma vez por dia apresentou resultados intermediários, sendo o valor de 17,49 g planta⁻¹. Todavia, o tratamento sem aplicação de solução nutritiva (testemunha) apresentou o menor valor de biomassa de raiz, sendo 12,18 g planta⁻¹.

A maior produtividade de raízes de rabanetes foi verificada no parcelamento da aplicação da solução nutritiva em três vezes por dia (10,28 Mg ha⁻¹), porém sendo semelhante estatisticamente ao tratamento com aplicação da solução nutritiva duas vezes por dia (9,08 Mg ha⁻¹). O parcelamento da aplicação da solução nutritiva três vezes por dia foi superior quando comparado com a aplicação da solução nutritiva uma vez por dia e ao tratamento testemunha.

De acordo com Costa (2021), o parcelamento da solução nutritiva pode promover um crescimento radicular mais vigoroso, permitindo que as plantas explorem uma área maior do solo em busca de nutrientes. Isso resulta em um sistema radicular mais desenvolvido e capaz de absorver uma quantidade maior de água e nutrientes, levando a um aumento na produção de biomassa e produtividade das culturas.

O parcelamento da aplicação das soluções nutritivas contribui para reduzir as perdas por lixiviação de nutrientes, permitindo que as plantas tenham acesso prolongado aos nutrientes no sistema de cultivo, resultando em uma maior eficiência de absorção e utilização dos nutrientes (SOUSA et al., 2011).

A maior biomassa de raízes e produtividade no parcelamento da solução nutritiva

em três aplicações por dia pode estar associado a disponibilidade dos nutrientes na solução, entre eles o potássio, tendo em vista que o rabanete é exigente neste nutriente (SOUZA et al., 2015), além da conversão destes para o ciclo de desenvolvimento das raízes, resultando assim, em maior produtividade (FREITAS, 2010).

Portanto, evidências científicas sugerem que o parcelamento da solução nutritiva pode ser uma estratégia eficaz para maximizar a produção de rabanete em sistemas semi-hidropônicos, proporcionando às plantas os nutrientes necessários de forma balanceada ao longo do ciclo de cultivo e favorecendo o crescimento e desenvolvimento.

CONCLUSÃO

O parcelamento da aplicação da solução nutritiva deve ser realizado duas ou três vezes por dia para aumentar o crescimento e a produtividade de rabanetes em sistema semi-hidropônico.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. V. R., ARAGÃO, M. F., SOUSA, H. G., BEZERRA, F. M. S., SILVA, A. O. **Influência de níveis freáticos nos parâmetros produtivos e fisiológicos da cultura do rabanete.** Revista Brasileira de Agricultura Irrigada v. 12, n. 5, p. 2907-2922, 2018.
- ALVES, M. S. **Estratégias de usos de águas salobras no cultivo de hortaliças folhosas em sistema hidropônico NFT.** 2011. 109 p. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2011.
- ARTUR, A. G., M. SOUZA, J. R., QUEIROZ, H. M., NATALE, W., PINHEIRO, J. I., MARTINS, T. D. S., TANIGUCHI, C. A. K. **Mineralization of nitrogen forms in soil cultivated with yellow melon under organic and mineral fertilization.** Communications in Soil Science and Plant Analysis, v. 52, n. 14, p. 1706-1719. 2021.
- COSTA, J. P. N. **Desempenho agrônômico de cenoura em função da adubação nitrogenada e potássica.** 2021. 94 p. Tese (Doutorado em Manejo de Solo e Água) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2021.
- COSTA, K. C., DAMASCENO, F. A., SILVA, D. S., BARBOSA, A. H. P., SILVA, J. C., SANTOS, M. A. L. **Resposta do rabanete (*Raphanus sativus*) a lâminas de água e doses de nitrogênio.** Revista Ambientale, v.12, n.1, p. 34-39. 2020.
- CRUZ, T. A. C. **Desenvolvimento de uma rede sem fio de micro estações meteorológicas para o manejo de irrigação.** 2018. 97 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2018.
- CUSTÓDIO, A. M. **Teor de vitamina C, acúmulo de minerais e produção de rabanetes submetidos a diferentes adubações.** 2014. 48 p. Dissertação (Mestrado em Agroecologia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.
- FERREIRA, D. F. **Sisvar: a computer statistical analysis system.** Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3ª edição. UFV, 2008.

FREITAS, L. M. D. **Efeito de diferentes doses de nitrogênio, potássio e silício na incidência da traça-das-crucíferas em repolho**. 2010. 75 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária. Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

HENZ, G. P., ALCANTARA, F. A. **Hortas: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Embrapa Informação Tecnológica: 2ª Edição. Embrapa Hortaliças, Brasília, 2009.

JUNIOR, C. H., REZENDE, R., FREITAS, P. S. L., GONÇALVES, A. C. A., FRIZZONE, J. A. **Influência da condutividade elétrica, concentração iônica de soluções nutritivas na produção de alface hidropônica**, Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 32, n. 4, p. 1142-1147, 2008.

KRAMER, M. **Produção de cultivares de rabanete em função de plantas de cobertura em antecedência à sementeira**. 2018. 87 p. Dissertação (Mestrado em Olericultura) – Instituto Federal Goiano, Morrinhos, 2018.

LEITE, M. de O. **Caracterização da qualidade nutricional, microbiológica, física e de vida útil pós-colheita de alface (*Lactuca sativa* L.) in natura, cultivadas por agricultura natural, hidroponia e método convencional, higienizadas e acondicionadas em atmosfera natural**. 2007. 87 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2007.

LOPES, M. V. S. **Esgoto doméstico tratado como fonte de água e nutrientes no cultivo em substrato do morangueiro**. 2022. 53 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Ambiente) - Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2022.

PACHECO, F., LAZZARINI, L. E., ALVARENGA, I. **Metabolismo relacionado com a fisiologia dos estômatos**. Enciclopédia Biosfera, v. 18, n. 36, p. 186-206, 2021.

SOUSA, V. F., MAROUELLI, W. A., COELHO, E. F., PINTO, J. M., FILHO, M. A. C., **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, 2011. 772 p.

SOUZA, G. P., LIMA, L. G. F., BORGES, I. A., BENETT, C. G. S., BENETT, K. S. S. **Manejo da adubação potássica para a cultura do rabanete**. Revista de Agricultura Neotropical, v. 2, n. 4, p. 60-64, 2015.

TAIZ, L., ZEIGER, E. **Plant physiology**. 5. ed. Sinauer Associates, 2010.

GERVÃO-ROXO (*STACHYTARPHETA CAYENNENSIS*) AS A BITTER INGREDIENT IN BEER

Data de submissão: 02/07/2024

Data de aceite: 01/08/2024

Fernando Antônio Anjo

Functional Food Research Group, State
University of Maringá
Maringá – Paraná
<https://orcid.org/0000-0001-6886-0304>

Anderson Lazzari

Functional Food Research Group, State
University of Maringá
Maringá – Paraná
<https://orcid.org/0000-0003-4039-4772>

Renata Leticia Akina Yoshii

Functional Food Research Group, State
University of Maringá
Maringá – Paraná
<https://orcid.org/0000-0002-1109-7384>

Fábio Nakamura

Functional Food Research Group, State
University of Maringá
Maringá – Paraná
<https://orcid.org/0009-0006-8919-0931>

Bianka Rocha Saraiva

Functional Food Research Group, State
University of Maringá
Maringá – Paraná
<https://orcid.org/0000-0002-6575-9857>

Paula Toshimi Matumoto-Pintro

Functional Food Research Group, State
University of Maringá
Maringá – Paraná
<https://orcid.org/0000-0002-9182-5758>

ABSTRACT: Brazil is one of the world's largest beer producers, and its beer market grows every year. Hops (*Humulus lupulus*), a raw material used in beer production and responsible for the bitter taste, has a significant economic impact on beer production due to its importation. The objective of this work was to use gervão-roxo (*Stachytarpheta cayennensis*) as a bitter ingredient in beer production, replacing hops. Chemical composition analysis, bioactive compounds, antioxidant activity, and bitterness of gervão-roxo and hops were carried out. Beers with 0, 25, 50, and 75% hop replacement were prepared. Beers made with gervão-roxo were evaluated by consumers in sensory analysis tests. Differences in the chemical composition, bioactive compounds, and bitterness between gervão-roxo and hops were observed. However, the physicochemical characteristics and bioactive compounds of the final product showed similarities, differing only in bitterness due to the intrinsic factors of the raw material. The results obtained, along with sensory acceptance data, indicate that gervão-roxo can be used as a bitter ingredient in beer production.

KEYWORDS: alcoholic fermentation; bitter ingredient; hops; sensory analysis.

GERVÃO-ROXO (*STACHYTARPHETA CAYENNENSIS*) COMO INGREDIENTE AMARGO EM CERVEJA

RESUMO: O Brasil é um dos maiores produtores de cerveja do mundo e seu mercado de cervejeiro cresce a cada ano. O lúpulo (*Humulus lupulus*), matéria-prima utilizada na produção de cerveja e responsável pelo sabor amargo, tem impacto econômico significativo na produção de cerveja devido à sua importação. O objetivo deste trabalho foi utilizar o gervão-roxo (*Stachytarpheta cayennensis*) como ingrediente amargo na produção de cerveja, em substituição ao lúpulo. Foram realizadas análises de composição química, compostos bioativos, atividade antioxidante e amargor do gervão-roxo e do lúpulo. Foram elaboradas cervejas com 0, 25, 50 e 75% de substituição de lúpulo. As cervejas elaboradas com gervão-roxo foram avaliadas por consumidores em testes de análise sensorial. Foram observadas diferenças na composição química, compostos bioativos e amargor entre gervão-roxo e lúpulo. As características físico-químicas e de compostos bioativos do produto final apresentaram semelhanças, diferindo apenas no amargor devido aos fatores intrínsecos da matéria-prima. Os resultados obtidos, juntamente com os dados de aceitação sensorial, indicam que o gervão-roxo pode ser utilizado como ingrediente amargo na produção de cerveja.

PALAVRAS-CHAVE: fermentação alcoólica; ingrediente amargo; lúpulo; análise sensorial.

INTRODUCTION

Beer is defined as a drink obtained from the alcoholic fermentation of brewer's wort, derived from barley malt and drinking water, by the action of yeast, with the addition of hops (EßLINGER, 2009). Hops (*Humulus lupulus*) is the ingredient that gives the drink its characteristic aroma and bitterness. Only its unfertilized female flowers are used in the production of beer; they are rich in yellow glands containing lupulin, a resinous material with a bitter taste, where resins, essential oils, anthocyanins, tannins, and α -acids (humulones) predominate. Originally, hops were used to preserve beer, but over time, it gained importance in two sensory qualities: the aromatic, which comes from essential oils, and the bitter taste, which comes from lupulin, mainly from humulones. In the wort cooking stage, hop α -acids are isomerized into iso- α -acids, with even more bitter and soluble characteristics (DURELLO; SILVA; BOGUSZ JR., 2019). This bitterness depends on the quantity of hops added to the beer, which is measured in International Bitterness Units - IBU (EßLINGER, 2009).

A major bottleneck in the Brazilian brewing industry is the production of hops. A large part of the hops used in beer production is imported, which increases the cost of production. The growth of the brewing industry in Brazil creates a new research niche that seeks new ingredients for beer formulation, ingredients that can replace hops. In this search for the appropriate matrix, it is important that the chosen plant acts in the processing of beer in a similar way to hops, in the precipitation of proteins, conferring characteristics of bitterness, antioxidant action, and the influencing on the formation and stability of the foam.

Recent studies show that bitter ingredients used as substitutes for hops, in addition to imparting bitterness to the beverage, also enrich it with antioxidant compounds and

obtain sensory acceptance from consumers. Rubim (*Leonurus sibiricus* L.) and Mastruz (*Chenopodium ambrosioides* L.) (LAZZARI et al., 2022, 2023), carqueja (*Baccharis trimera* (Less.) DC. Asteraceae) (SCHUINA et al., 2020), sage (*Salvia officinalis*), and dandelion (*Taraxacum*) and nettle (*Urtica dioica*) (HAYWARD; WEDEL; MCSWEENEY, 2019) have been used as bitter ingredients in beer.

The phytochemical characteristics of hops can be found in other ingredients that can be used as substitutes for hops. The gervão-roxo (*Stachytarpheta cayennensis* (L.C. Rich) Vahl) is a fibrous subshrub used in folk medicine for the treatment of stomach ulcers, pain, fever, and diarrheal. It has anti-inflammatory, analgesic, gastroprotective, and antimicrobial activity. This plant is characterized by the presence of alkaloids, glycosides (verbenalin and verbenin), tannins, saponins, flavonoids, steroids, quinones, phenolic compounds, and glycyrrhizin acid as chemical constituents (SHAH, 2021).

Based on the phytochemical composition of gervão-roxo and the need for Brazilian breweries to seek new alternatives to replace hops, this work aims to evaluate the physical-chemical properties and bioactive compounds of gervão-roxo (*S. cayennensis*) and use them as a bitter ingredient in beer production.

MATERIALS AND METHODS

Materials and reagents

Gervão-roxo (*S. cayennensis*) was obtained in the northwest region of Rio Grande do Sul, Brazil (27° 56' 38" S, 52° 55' 23" W). Pilsen malt (Agrária, Brazil) and Hallertauer Tradition pellet hops (Barth-Hass Group, Germany) were generously donated by Industrial Norte Paranaense de Bebidas (INBEB; Londrina, PR, Brazil). Safale US-05 yeast was sourced from the Fermentis Division of S. I. Lesaffre (Marcq-en-Baroeul, France).

Folin-Ciocalteu reagent, gallic acid, 2,2'-azino-bis-3-ethyl benzothiazoline-6-sulfonic acid (ABTS), 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical (DPPH), quercetin, methyl alcohol, hydrochloric acid, trichloroacetic acid, phosphate buffer, sodium carbonate, potassium persulphate, and β -carotene (purity $\geq 95\%$, synthetic, type II and crystalline) were obtained from Sigma Aldrich (St. Louis, Missouri, USA). Aluminium chloride, potassium ferricyanide, and ferric chloride were of analytical grade.

Characterization of bitter ingredients

Initially, the gervão-roxo was washed and sanitized in a sodium hypochlorite solution (200 ppm/15 min) and subsequently dehydrated in an oven with air circulation at 55 °C until a constant weight was achieved. The gervão-roxo was then crushed, and its granulometry was standardized (60 mesh). Both gervão-roxo and hops samples had their chemical composition evaluated for moisture, mineral content, fibre, lipids, carbohydrates, and proteins (AOAC, 1990)

Methanolic extracts (1:10) of gervão-roxo and hops were used for bioactive compounds and antioxidant activity assays. An aliquot of 300 μL of the methanolic extract was added to 150 μL of aluminium chloride (50 g/L) and 2250 μL of methanol to determine the total flavonoids. The absorbance was measured at 425 nm, and the results were expressed in quercetin equivalents (BURIOL *et al.*, 2009).

Total polyphenol content was determined according to Singleton & Rossi (1965). An aliquot of 125 μL of methanolic extract was mixed with 125 μL of Folin-Ciocalteu (50%) and 2250 μL of sodium bicarbonate (28g/L). The absorbance was measured at 725 nm, and the results were expressed as gallic acid equivalents.

Antioxidant assays for the capture of the ABTS radical (2,2 AZINO BIS [3-ethylbenzothiazoline, 6-sulfonic acid]) and DPPH (2,2-Diphenyl-1-Picrylhydrazyl) and antioxidant capacity by the iron ion reduction power (FRAP) were performed. The percentage of ABTS radical capture was determined by reacting 40 μL of methanolic extract with 1960 μL of ABTS* solution (7 mM) and then measuring the absorbance at 734 nm using a spectrophotometer (RUFINO *et al.*, 2010).

The DPPH assay was determined by reacting 150 μL of methanolic extract with 2850 μL of DPPH solution (0.06 mM). After 30 minutes of incubation in the dark, the absorbance reading was performed at 515 nm, and the percentage of antioxidant activity was calculated (Brand-Williams *et al.*, 1995).

FRAP was determined by the reaction of 250 μL of methanolic extract with 1250 μL phosphate buffer (0.5 mol/L and pH 7) and 1250 μL potassium ferrocyanide (1%). The solution was then kept at 50 °C for 20 minutes. After cooling, 1250 μL trichloroacetic acid (10%) was added, the samples were centrifuged at 3000 rpm for 10 minutes, the supernatant was recovered, and 0.5 mL of iron chloride (0.1%) was added. The absorbance was read at 700 nm, and the results were expressed as gallic acid equivalents (ZHU *et al.*, 2002).

Global bitterness was determined according to Philpott *et al.* (1997) with modifications. The extraction of bitter substances from gervão-roxo and hops was performed with 4 mL of 2,2,4-trimethylpentane in samples acidified with 200 μL of 3 mol/L HCl, followed by stirring for 15 minutes and centrifugation (MPW 351R, Warszawa, Poland) at 3000 g for 10 minutes. The bitterness of the supernatant was measured at 275 nm, using a spectrophotometer (EvolutionTM 300; Thermo Fisher Scientific, Cambridge, UK), and expressed in IBU, calculated by Eq. 1, where $A_{(275 \text{ nm})}$ is the absorbance at 275 nm:

$$\text{Bitterness (IBU)} = A_{(275 \text{ nm})} \times 50 \quad (1)$$

Beer preparation

The brewing wort was prepared from a mixture (1:4) of crushed malt and water. It was initially heated to 44 °C for 30 minutes, followed by a temperature increase to 52 °C for 20 minutes, another temperature increases to 70 °C for 30 minutes, and finally maintained at 76°C for 5 minutes. The entire mashing process was conducted with agitation, at the end the wort was filtered. Subsequently, the wort was concentrated at 98 °C for 60 minutes to reach 12.5 °Brix. Then, hops and gervão-roxo were added, as shown in Table 1.

Beers	Hop replacement (%)	Hops (g)	Gervão-roxo (g)
B00	0	1.32	0.00
B25	25	0.99	1.47
B50	50	0.66	2.94
B75	75	0.33	4.40

Table 1. Percentage of substitution of hops for gervão-roxo.

Four top-fermentation beer formulations were prepared with a partial replacement of hops. The amount of gervão-roxo added was calculated based on the overall bitterness of hops and gervão-roxo, determined as previously described.

After boiling, the wort was cooled to 25 °C, filtered, and yeast (Fermentis - SafAle™ US-05) was added according to the manufacturer's recommendation (0.5 g/L). Fermentation took place at 18 °C for 7 days. After the fermentation period, the fermented product was matured at 2 °C for 7 days. After this period, the fermented product was packaged in 600 mL amber bottles, cleaned, sanitized, and labelled. The carbonation of the fermented product was achieved by adding sucrose (3 g/L) at a temperature of 23 °C for 7 days. At the end of carbonation, the fermented product was pasteurized at 70 °C for 15 minutes to obtain pasteurized beer.

Beer characterization

Decarbonated beer samples (centrifuged at 3000 rpm for 10 minutes) were evaluated for initial soluble solids content, pH, total acidity, fixed acidity, and volatile acidity (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008). To determine the colour, 5 mL of each decarbonated sample was transferred to a cuvette, and the spectrophotometer reading was performed at 430 nm, using distilled water as a blank. The colour was expressed in EBC (European Brewery Convention) according to Eq. 2, where A is the absorbance, and 25 is the conversion factor (EUROPEAN BREWERY CONVENTION, 2007):

$$\text{Colour (EBC)} = A \times 25 \quad (2)$$

The alcoholic strength (AC) of the beers was determined from the initial density (ID) and final density (DF) of the beer wort, following Eq. 3 (PAPAZIAN, 2014):

$$AC (\%) = 131.25 \times (ID - FD) \quad (3)$$

An aliquot of each decarbonated sample was used for the analysis of bioactive compounds, antioxidant activities, and overall bitterness (without the need for the extraction of bitter compounds) as previously described.

Consumer acceptance

A consumer trial (n = 67) was conducted at the State University of Maringá. Participants were recruited through online advertisements. The analysis was approved by the Research Ethics Committee at State University of Maringá (CAAE: 39847220.8.0000.0104). Before the analysis, participants were asked to complete a questionnaire consisting of questions about their demographics, interest in beer, knowledge about beer, and beer consumption habits.

Beers were served in acrylic glasses coded with random three-digit numbers. Thirty millilitres of the beer samples were served at 4 °C. Participants evaluated all four beer samples. Water was provided for mouth rinsing between beer sample tastings. The samples were presented in random order. Consumers were instructed to take a mouthful of each beer and were free to finish the full sample of each beer. They were asked questions regarding their appraisal of colour, aroma, flavour, and overall acceptance on a structured 9-point hedonic scale (GARCÍA-GÓMEZ et al., 2019; MEILGAARD, 1999). A medium score was excluded, following Furnols *et al.* (2008). A structured 5-point scale was used to evaluate bitterness intensity (1 = extremely intense to 5 = little intense) (MINIM, 2010). Purchase intention of beers was assessed at the same time using a three-point scale (VITAL et al., 2018), and results were expressed as a percentage.

Statistical analysis

The experiment was performed three times, and the analyses were conducted in triplicate. The data were subjected to analysis of variance (ANOVA) and Tukey's test at the 5% level. Multiple Correspondence Analysis (MCA) was performed using Statistica 10.0 software (Start Soft, Inc., USA), and Principal Component Analysis (PCA) was conducted with Origin® 2018.

RESULTS AND DISCUSSION

Chemical characteristics of bitter ingredients

Gervão-roxo is an erect, perennial, branched, fibrous subshrub, highly resistant to traction (SHAH, 2021), while the hops used in the preparation of beers are produced from unfertilized female flowers of *H. lupulus* (BIR; NORWOOD, 2020). These intrinsic characteristics of each of these plants undoubtedly influence their chemical composition. As observed in Table 2, all chemical composition parameters, except for carbohydrates and fibre, are found in higher concentrations in hops. Nutrients from the bittering ingredients may contribute to the fermentation process, as they increase the nutritional value of the wort, promoting yeast reproduction. Yeasts require minerals, nitrogen sources (proteins), and energy sources (carbohydrates and lipids) to facilitate a more efficient production of carbon dioxide and ethanol (AQUARONE et al., 2001). It is important to note that a wort rich in fibre aids in the beer clarification process, as fibres have a filtering capacity (ARTIT KONGKAEW, 2012; CELA et al., 2020).

Assays	Gervão-roxo	Hops
<i>Chemical composition (%)</i>		
Fiber*	20.94 ± 1.17 ^a	17.20 ± 0.14 ^b
Lipids	3.64 ± 0.19 ^b	15.51 ± 0.66 ^a
Ash	6.33 ± 0.05 ^b	8.14 ± 0.14 ^a
Proteins	13.09 ± 0.29 ^b	14.57 ± 0.26 ^a
Moisture	8.73 ± 0.08 ^b	10.21 ± 0.01 ^a
Carbohydrates	68.37 ± 0.38 ^a	34.32 ± 0.88 ^b
<i>Bioactive compounds</i>		
Flavonoids (mgQE/g)	3.30 ± 0.17 ^b	14.66 ± 2.69 ^a
Total polyphenols (mgGAE/g)	0.69 ± 0.03 ^b	70.74 ± 1.90 ^a
ABTS (%)	10.75 ± 2.20 ^b	17.85 ± 0.82 ^a
DPPH (%)	17.83 ± 2.04 ^b	63.96 ± 0.39 ^a
FRAP (mgGAE/g)	0.96 ± 0.15 ^b	43.47 ± 3.61 ^a
<i>Bitterness (IBU)</i>	9.00 ± 0.02 ^b	40.00 ± 0.10 ^a

Table 2. Chemical composition and content of bioactive compounds of gervão-roxo and hops. Results are expressed as mean ± standard deviation. Different letters on the same line indicate significant differences. *The fiber content is included in the total carbohydrate amount. IBU: International Bitterness Units; QE: quercetin equivalent; GAE: gallic acid equivalent; ABTS: antioxidant analysis using the ABTS method; DPPH: antioxidant analysis using the DPPH method; FRAP: antioxidant analysis using the reducing power of the iron ion.

The intrinsic factors of gervão-roxo and hops also influenced the concentrations of bioactive compounds and antioxidant capacities. The flowers, which are the parts of the plant used to manufacture hops, contain significant amounts of lupulin, a substance that contains essential oils, resins, polyphenols, tannins, and α -acids. These two substances are responsible for the bitterness of hops and are bioactive compounds with antioxidant activity (OLADOKUN et al., 2016). Therefore, they justify the differences in bioactive compounds and existing antioxidant capacities between hops and gervão-roxo, as shown in Table 2, since the bittering ingredient obtained from gervão-roxo consisted of flowers, stems, and leaves.

The presence of bitter substances such as α -acids, tannins, and lupulin in hops may explain the difference in bitterness between hops and gervão-roxo, as observed in Table 2. Since gervão-roxo had less bitterness, the bitterness index was used as the parameter for beer production when substituting hops with gervão-roxo. To achieve a beer with similar characteristics to a beer made with hops, enough gervão-roxo was used to obtain the same level of bitterness, as shown in Table 1.

Physicochemical properties and bioactive compounds of beers

The organic and inorganic acids found in beers are of great importance for the sensory properties of the drink. They originate from the raw materials used, are derived from compounds produced during the fermentation process, and result from the release of substances due to yeast autolysis (CIOCH-SKONECZNY et al., 2023). In Table 3, it is possible to observe that the fixed acidity remained unchanged regardless of the level of addition of gervão-roxo. This type of acidity comes from the acids contained in the raw materials and other ingredients (CIOCH-SKONECZNY et al., 2023). The unaltered behaviour of fixed acidity indicates that the replacement of hops with gervão-roxo does not interfere with the acid composition of the wort, thus not hindering the fermentation process.

When observing the total acidity of the beer samples, it was verified that it is influenced by volatile acidity. Samples with higher concentrations of gervão-roxo (B50 and B75) have lower volatile acidity. Volatile acidity in beers originates from the production of acetic acid during fermentation. Low concentrations of acetic acid and, therefore, low volatile acidity is important so that the beer does not have a bitter taste and unpleasant smell (29). The other physicochemical parameters, soluble solids, alcohol content, pH, and colour, were not affected by the substitution of hops with gervão-roxo.

Assays	B00	B25	B50	B75
<i>Physicochemical properties</i>				
Total acidity (meq/L)	37.09 ± 0.97 ^a	35.08 ± 2.11 ^{ab}	32.34 ± 0.99 ^c	33.27 ± 1.10 ^{bc}
Volatile acidity (meq/L)	16.83 ± 2.66 ^a	15.49 ± 1.53 ^{ab}	12.05 ± 2.21 ^c	13.20 ± 1.55 ^{bc}
Fixed acidity (meq/L)	20.25 ± 2.12 ^a	19.59 ± 0.91 ^a	20.29 ± 1.28 ^a	20.07 ± 0.59 ^a
Dry extract (g/L)	49.43 ± 2.38 ^{ab}	48.81 ± 2.76 ^{ab}	52.27 ± 2.50 ^a	47.36 ± 2.44 ^b
Soluble solids (°Brix)	6.65 ± 0.16 ^a	6.50 ± 0.33 ^a	6.65 ± 0.38 ^a	6.40 ± 0.66 ^a
Alcohol content (%)	5.93 ± 0.55 ^a	5.74 ± 0.73 ^a	5.58 ± 0.11 ^a	5.61 ± 0.69 ^a
pH	5.15 ± 0.01 ^a	5.18 ± 0.10 ^a	5.15 ± 0.12 ^a	5.10 ± 0.05 ^a
Colour (EBC)	3.60 ± 0.77 ^a	3.06 ± 0.29 ^a	3.05 ± 0.46 ^a	3.36 ± 0.64 ^a
<i>Bioactive compounds</i>				
ABTS (%)	55.85 ± 11.01 ^a	52.74 ± 2.50 ^a	53.55 ± 2.83 ^a	61.61 ± 9.07 ^a
DPPH (%)	72.54 ± 1.91 ^b	72.17 ± 6.53 ^b	75.34 ± 3.92 ^{ab}	79.12 ± 2.48 ^a
FRAP (mgGAE/L)	65.47 ± 13.01 ^a	59.76 ± 3.37 ^a	57.87 ± 2.21 ^a	60.63 ± 5.37 ^a
Total polyphenols (mgGAE/L)	192.33 ± 8.11 ^a	192.71 ± 4.17 ^a	191.77 ± 5.79 ^a	195.31 ± 4.73 ^a
Flavonoids (mgQE/L)	15.74 ± 0.83 ^a	17.12 ± 2.95 ^a	16.00 ± 1.78 ^a	15.31 ± 0.79 ^a
<i>Bitterness (IBU)</i>				
	20.53 ± 1.14 ^a	14.80 ± 1.20 ^b	11.08 ± 1.71 ^c	6.45 ± 0.69 ^d

Table 3. Physicochemical properties and bioactive compounds of beers. Results are expressed as mean ± standard deviation. Different letters in the same line indicate significant differences. QE: quercetin equivalent; GAE: gallic acid equivalent; ABTS: antioxidant analysis using the ABTS method; DPPH: antioxidant analysis using the DPPH method; FRAP: antioxidant analysis using the reducing power of the iron ion; B00: beer without hop replacement; B25: beer with 25% hop replacement; B50: beer with 50% hop replacement; B75: beer with 75% hop replacement.

The substitution of hops for *gervão-roxo* did not influence the number of bioactive compounds and antioxidant activity between the samples. The total polyphenols present in beer have an influence on its preservation and shelf life since their oxidation can alter its sensory characteristics, such as colour, aroma, and flavour (ARON; SHELLHAMMER, 2010). The antioxidant activity present in beer is a result of its composition of esters, aldehydes, organic acids, phenols, and other compounds, which are directly related to the quality of the ingredients used in the manufacturing process (VIANA et al., 2021).

It was observed that the samples differed in terms of their bitterness, and this analysis is based on the number of tannins present in the samples. Tannins are polyphenols from plants that contribute to flavour and palatability, being responsible for the astringency and bitterness of beer. The low bitterness value of beers with hops substituted can be justified due to the formation of insoluble complexes of the tannins present in the *gervão-roxo* with the malt proteins, which precipitated during the boiling of the wort and formed the trub (beer residue) (LAZZARI et al., 2022; SARAIVA et al., 2019).

Consumer trial

The profile of consumers who participated in the sensory analysis is presented in Table 4. Most of the consumers are men (64.18%), and the majority declared themselves to be regular beer drinkers (83.60%). The consumers' ages ranged from 21 to 29 years, with a high level of education and family income. Consumers answered a questionnaire about their preference for beer style and bitterness intensity. Most of the consumers prefer traditional beer (61.20%), which includes beer with malt, hops, and yeast only, while 38.80% prefer craft beer. Both groups enjoy beer with low bitterness (86.56%), as shown in Fig. 1a.

<i>Gender</i>	(%)
Men (n = 43)	64.18
Women (n = 24)	35.82
<i>Frequency of drinking</i>	
Frequent	83.60
Not Frequent	16.40
<i>Age</i>	
21 - 29	100
<i>Education level</i>	
High	100
<i>Family income</i>	
Up to 2 wages	14.93
2 – 6 wages	40.31
6 – 10 wages	22.38
> 10 wages	22.38

Table 4. Sociodemographic characteristics of identifying consumers' profile. Frequent: drink beer once and twice a week; Not frequent: drink beer once and twice a month.

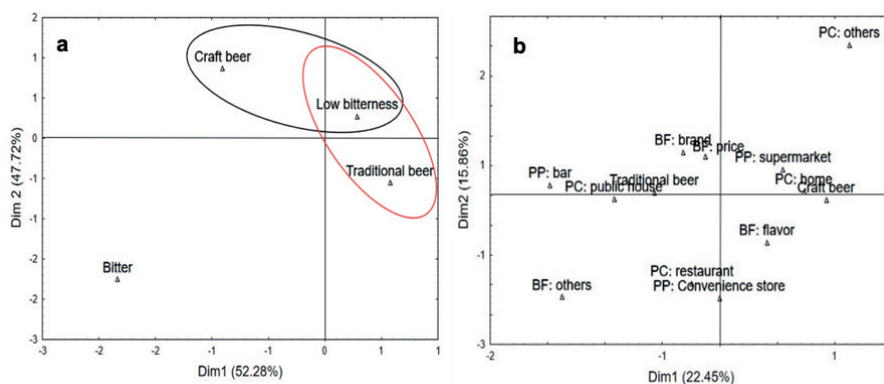


Figure 1. a) Correspondence analysis of preferences towards beers among the testers (n = 67). b) Multiple Correspondence Analysis (MCA) of purchase, consumption preference, and purchasing factors by beer style. PP: place of purchase; PC: place of consumption; BF: buying factor.

A Multiple Correspondence Analysis (MCA) was performed to better understand the relationships between purchase place, consumption place, and buying factors by beer style (Fig. 1b). Traditional beer drinkers prioritize the beer brand and price, while craft beer drinkers emphasize flavour, the search for quality, and product craftsmanship. This gradual shift in consumer habits and purchasing behaviour is leading them to consume beer at home rather than in places traditionally associated with consumption, such as public houses, convenience stores, restaurants, and bars. This trend demonstrates that craft beer can be evaluated as a high-quality beverage and highlights a social subculture that prefers to drink less but better (AQUILANI et al., 2015; KOCH; SAUERBRONN, 2019).

Attributes	B00	B25	B50	B75
Colour	6.39 ± 1.56 ^a	6.52 ± 1.57 ^a	6.02 ± 1.80 ^a	6.22 ± 1.65 ^a
Aroma	6.77 ± 1.57 ^a	6.75 ± 1.60 ^a	6.58 ± 1.60 ^{ab}	6.00 ± 1.75 ^b
Flavour	6.31 ± 2.10 ^a	5.92 ± 2.11 ^{ab}	5.73 ± 2.28 ^{ab}	5.02 ± 2.26 ^b
Overall acceptance	6.50 ± 1.74 ^a	6.22 ± 1.90 ^{ab}	5.92 ± 1.96 ^{ab}	5.47 ± 2.00 ^b
Bitterness intensity	3.94 ± 1.11 ^a	3.55 ± 1.05 ^{ab}	3.17 ± 1.21 ^{bc}	2.78 ± 1.07 ^c
<i>Purchase intention (%)</i>				
Would certainly buy	28.35	38.80	29.85	26.86
Maybe buy	47.76	35.82	37.31	17.91
Wouldn't buy	23.88	25.37	32.83	55.22

Table 5. Sensory characteristics and purchase intention of beers. Results are expressed as mean ± standard deviation. Different letters in the same line are significantly different ($p \leq 0.05$). B00: beer without hop replacement; B25: beer with 25% hop replacement; B50: beer with 50% hop replacement; B75: beer with 75% hop replacement.

The sensory analysis and purchase intention of beers are presented in Table 5. No significant difference ($p > 0.05$) was found for colour attributes in the beers. The beer with 25% hop replacement does not show significant differences compared to the control beer (B00) for all attributes. Bitterness intensity showed significant differences ($p < 0.05$) between the control beer (B00), B50, and B75. The bitterness (IBU) of the beers decreased with increased hop replacement (Table 3). The IBU of *gervão-roxo* is lower than that of hops (Table 2). However, polyphenols can impact the sensory bitterness intensity and bitterness units (IBU) of a beer (HAHN et al., 2018), which is in line with previous studies (LAZZARI et al., 2022; SCHUINA et al., 2020). The bitterness intensity of B00 and B25 is close to “slightly intense” and “moderately intense” and shows a higher purchase intention (Table 5). As previously mentioned, the consumers in this research prefer traditional/craft beers with low bitterness (Fig. 1a), which explains why B50 and B75 have the lowest purchase intention due to their greater intensity of bitterness. Phenolic acids in the composition of *gervão-roxo* in higher quantities may cause astringency, a quality that was not appreciated in beverages.

Principal component analysis

Principal component analysis (PCA) is used to graphically represent the relationship between variables (chemical composition and sensory attributes) for beers. The results are shown in Fig. 2. PCA explained 88.44% of the variables across two axes, PC1 (72.23%) and PC2 (16.21%). B00 and B25 are both positioned on the right side of PC1. The attributes associated with these beers align with their sensory characteristics (Table 5). Both B00 and B25 received higher ratings for sensory attributes (colour, aroma, flavour, overall acceptance), and the bitterness intensity for both was low, matching consumer preferences (Fig. 1a). On the other hand, B50 and B75 were positioned on the opposite side, showing an inverse relationship with consumer preferences.

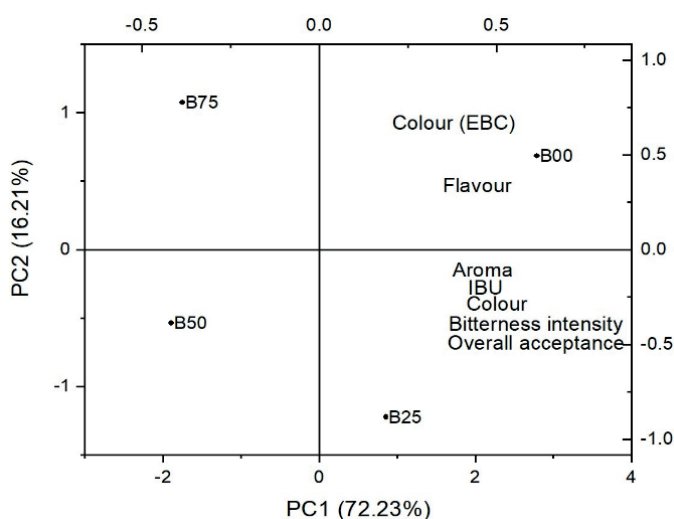


Figure 2. Principal component analysis (PCA) of beer sensory characteristics and chemical composition. IBU, International bitterness units; EBC, European Brewing Convention. B00: beer without hop replacement; B25: beer with 25% hop replacement; B50: beer with 50% hop replacement; B75: beer with 75% hop replacement.

CONCLUSIONS

Differences in the chemical composition and bioactive compounds between *gervão-roxo* and hops were observed, and these differences were related to the method of obtaining the raw material (bitter ingredient). Beers made with *gervão-roxo* as a bitter ingredient exhibited similar physicochemical characteristics and bioactive compounds to those of the standard sample (produced with hops), differing only in terms of bitterness, which can be attributed to intrinsic factors of the raw material. The results obtained, along with the sensory acceptance data, indicate that *gervão-roxo* can be effectively used as a bitter ingredient in beer production when combined with hops at a concentration of 25%.

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank Coordination of Improvement of Higher-Level Personnel Foundation (CAPES) and State University of Maringá for the scholarships, the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq), process number 302408/2022-3, for the financial support, and the Industrial Norte Paranaense de Bebidas (INBEB; Londrina, PR, Brazil) by providing malt and hops.

REFERENCES

AOAC. Official Methods of Analysis of AOAC International. *Em: Association of Official Analysis Chemists International*. [s.l.: s.n.]. v. Ilp. 1058–1059. DOI: 10.3109/15563657608988149.

AQUARONE, Eugenio; BORZANI, Walter; SCHMIDELL, Willibaldo; LIMA, Urgel de Almeida. *Biotecnologia industrial*. 4. ed. [s.l.]: Edgard Blucher, 2001.

AQUILANI, Barbara; LAURETI, Tiziana; POPONI, Stefano; SECONDI, Luca. Beer choice and consumption determinants when craft beers are tasted: An exploratory study of consumer preferences. *Food Quality and Preference*, [S. l.], v. 41, p. 214–224, 2015. DOI: 10.1016/j.foodqual.2014.12.005.

ARON, Patricia M.; SHELLHAMMER, Thomas H. A Discussion of Polyphenols in Beer Physical and Flavour Stability. *Journal of the Institute of Brewing*, [S. l.], v. 116, n. 4, p. 369–380, 2010. DOI: 10.1002/j.2050-0416.2010.tb00788.x.

ARTIT KONGKAEW. Optimization of wort production from rice malt using enzymes and barley malt. *AFRICAN JOURNAL OF BIOTECHNOLOGY*, [S. l.], v. 11, n. 42, 2012. DOI: 10.5897/AJB11.2303.

BIR, C.; NORWOOD, B. F. **From seed to sip-A small batch hop experiment**. 2020. Disponível em: <https://extension.okstate.edu/fact-sheets/from-seed-to-sip-a-small-batch-hop-experiment.html>. Acesso em: 5 maio. 2024.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, [S. l.], v. 28, n. 1, p. 25–30, 1995. DOI: 10.1016/S0023-6438(95)80008-5. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643895800085>.

BURIOL, Lilian et al. Composição química e atividade biológica de extrato oleoso de própolis: Uma alternativa ao extrato etanólico. *Química Nova*, [S. l.], v. 32, n. 2, p. 296–302, 2009. DOI: 10.1590/S0100-40422009000200006.

CELA, Nazarena; CONDELLI, Nicola; CARUSO, Marisa C.; PERRETTI, Giuseppe; DI CAIRANO, Maria; TOLVE, Roberta; GALGANO, Fernanda. Gluten-Free Brewing: Issues and Perspectives. *Fermentation*, [S. l.], v. 6, n. 2, p. 53, 2020. DOI: 10.3390/fermentation6020053.

CIOCH-SKONECZNY, Monika; SRAL, Anna; CEMPA, Arkadiusz; RZADKOWSKA, Justyna; SATORA, Paweł; SKONECZNY, Szymon. Use of red grape pulp, marc and must in the production of beer. *European Food Research and Technology*, [S. l.], v. 249, n. 4, p. 1059–1072, 2023. DOI: 10.1007/s00217-022-04195-5.

DURELLO, Renato; SILVA, Lucas; BOGUSZ JR., Stanislaw. Química do lúpulo. *Química Nova*, [S. l.], v. 42, n. 8, p. 900–919, 2019. DOI: 10.21577/0100-4042.20170412.

EßLINGER, Hans Michael. **Handbook of Brewing: processes, technology, markets**. London: Wiley, 2009. DOI: 10.1002/9783527623488.

EUROPEAN BREWERY CONVENTION. **Analytica-EBC**. 5. ed. Nürnberg: Fachverlag Hans Carl, 2007.

FONT I FURNOLS, M. et al. Consumers' sensory acceptability of pork from immunocastrated male pigs. **Meat Science**, [S. l.], v. 80, n. 4, p. 1013–1018, 2008. DOI: 10.1016/j.meatsci.2008.04.018.

GARCÍA-GÓMEZ, Belén; ROMERO-RODRÍGUEZ, Ángeles; VÁZQUEZ-ODÉRIZ, Lourdes; MUÑOZ-FERREIRO, Nieves; VÁZQUEZ, Manuel. Sensory quality and consumer acceptance of skim yoghurt produced with transglutaminase at pilot plant scale. **International Journal of Dairy Technology**, [S. l.], v. 72, n. 3, p. 388–394, 2019. DOI: 10.1111/1471-0307.12595.

HAHN, Christina D.; LAFONTAINE, Scott R.; PEREIRA, Cliff B.; SHELLHAMMER, Thomas H. Evaluation of Nonvolatile Chemistry Affecting Sensory Bitterness Intensity of Highly Hopped Beers. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [S. l.], v. 66, n. 13, p. 3505–3513, 2018. DOI: 10.1021/acs.jafc.7b05784.

HAYWARD, Lydia; WEDEL, Adrienne; MCSWEENEY, Matthew B. Acceptability of beer produced with dandelion, nettle, and sage. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, [S. l.], v. 18, p. 100180, 2019. DOI: 10.1016/j.ijgfs.2019.100180.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo. Disponível em: http://www.ial.sp.gov.br/resources/editorinplace/ial/2016_3_19/analisedealimentosial_2008.pdf. Acesso em: 15 fev. 2022.

KOCH, Eduardo Salgueiro; SAUERBRONN, João Felipe Rammelt. “To love beer above all things”: An analysis of Brazilian craft beer subculture of consumption. **Journal of Food Products Marketing**, [S. l.], v. 25, n. 1, p. 1–25, 2019. DOI: 10.1080/10454446.2018.1431577.

LAZZARI, Anderson; BARBOSA, Heloisa Dias; FILHO, Evandro Ribeiro Machado; DADA, Ana Paula; SARAIVA, Bianca Rocha; MATUMOTO-PINTRO, Paula Toshimi. Gender behavior and influence in acceptability of beers produced with Rubim and Mastruz. **Journal of Sensory Studies**, [S. l.], v. 37, n. 2, 2022. DOI: 10.1111/joss.12731.

LAZZARI, Anderson; BARBOSA, Heloisa Dias; MACHADO FILHO, Evandro Ribeiro; MALDONADO DA SILVA, Lucas Henrique; ANJO, Fernando Antônio; SATO, Francielle; LOURENZI FRANCO ROSA, Cássia Inês; MATUMOTO PINTRO, Paula Toshimi. Effect on Bioactive Compounds and Antioxidant Activity in the Brewing Process for Beers Using Rubim and Mastruz as Hop Replacements. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, [S. l.], v. 81, n. 2, p. 265–275, 2023. DOI: 10.1080/03610470.2022.2053638.

MEILGAARD, Civille. Front Matter. *Em: Sensory Evaluation Techniques, Third Edition*. [s.l.] : CRC Press, 1999. p. 124–125. DOI: 10.1201/9781439832271.fmatt. Disponível em: <http://www.crcnetbase.com/doi/10.1201/9781439832271.fmatt>.

MINIM, V. P. R. **Análise sensorial: estudos com consumidores**. Viçosa: UFV, 2010.

OLADOKUN, Olayide; TARREGA, Amparo; JAMES, Sue; SMART, Katherine; HORT, Joanne; COOK, David. The impact of hop bitter acid and polyphenol profiles on the perceived bitterness of beer. **Food Chemistry**, [S. l.], v. 205, p. 212–220, 2016. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.03.023.

PAPAZIAN, C. **The complete joy of homebrewing: fully revised and updated**. New York: Harper Collins, 2014.

PHILPOTT, J.; TAYLOR, D. M.; WILLIAMS, D. R. Critical Assessment of Factors Affecting the Accuracy of the IoB Bitterness Method. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, [S. l.], v. 55, n. 3, p. 103–106, 1997. DOI: 10.1094/ASBCJ-55-0103.

RUFINO, Socorro M.; ALVES, Ricardo E.; BRITO, Edy S. De; PÉREZ-JIMÉNEZ, Jara; SAURA-CALIXTO, Fulgencio; MANCINI-FILHO, Jorge. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, [S. l.], v. 121, n. 4, p. 996–1002, 2010. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.01.037. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.01.037>.

SARAIVA, Bianka Rocha; ANJO, Fernando Antônio; VITAL, Ana Carolina Pelaes; SILVA, Lucas Henrique Maldonado Da; OGAWA, Camilla Yara Langer; SATO, Francielle; COIMBRA, Ladislau Beims; MATUMOTO-PINTRO, Paula Toshimi. Waste from brewing (trub) as a source of protein for the food industry. **International Journal of Food Science & Technology**, [S. l.], v. 54, n. 4, p. 1247–1255, 2019. DOI: 10.1111/ijfs.14101.

SCHUINA, Guilherme Lorencini; QUELHAS, João Olavo Figueiredo; CARVALHO, Giovani Brandão Mafra; DEL BIANCHI, Vanildo Luiz. Use of carqueja (*Baccharis trimera* (Less.) DC. Asteraceae) as a total substitute for hops in the production of lager beer. **Journal of Food Processing and Preservation**, [S. l.], v. 44, n. 10, 2020. DOI: 10.1111/jfpp.14730.

SHAH, M. B. Phytochemistry, pharmacology, and botanical aspects of *Stachytarpheta* species - A review. **International Journal of Green Pharmacy**, [S. l.], v. 15, n. 2, 2021.

SINGLETON, V. L.; ROSSI JR., Joseph A.; ROSSI J A JR. Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, [S. l.], v. 16, n. 3, p. 144–158, 1965. DOI: 10.12691/ijebb-2-1-5. Disponível em: <http://www.ajevonline.org/cgi/content/abstract/16/3/144>.

VIANA, Arão Cardoso; PIMENTEL, Tatiana Colombo; BORGES DO VALE, Rafaela; CLEMENTINO, Lorena Santos; JANUARIO FERREIRA, Emilly Thayná; MAGNANI, Marciane; DOS SANTOS LIMA, Marcos. American pale Ale craft beer: Influence of brewer's yeast strains on the chemical composition and antioxidant capacity. **LWT**, [S. l.], v. 152, p. 112317, 2021. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.112317.

VITAL, Ana Carolina Pelaes; SANTOS, Nadine Woruby; MATUMOTO-PINTRO, Paula Toshimi; DA SILVA SCAPIM, Monica Regina; MADRONA, Grasiela Scaramal. Ice cream supplemented with grape juice residue as a source of antioxidants. **International Journal of Dairy Technology**, [S. l.], v. 71, n. 1, p. 183–189, 2018. DOI: 10.1111/1471-0307.12412.

ZHU, Qin Yan; HACKMAN, Robert M.; ENSUNSA, Jodi L.; HOLT, Roberta R.; KEEN, Carl L. Antioxidative activities of oolong tea. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [S. l.], v. 50, n. 23, p. 6929–6934, 2002. DOI: 10.1021/jf0206163.

AValiação DO POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS A PARTIR DE RESÍDUOS DE PALMA DE ÓLEO SUBMETIDOS AO PROCESSO DE CRAQUEAMENTO TÉRMICO-CATALÍTICO

Data de aceite: 01/08/2024

Mário Davi Coutinho Santos

Graduando em Agronomia. Universidade Federal Rural da Amazônia

Letícia Bentes Soares

Graduanda em Agronomia. Universidade Federal Rural da Amazônia

Claudemir de Jesus dos Santos Júnior

Graduando em Agronomia. Universidade Federal Rural da Amazônia

Odete Kariny Souza Santos

Graduanda em Agronomia. Universidade Federal Rural da Amazônia

Ellen Thaís Nunes de Sousa

Graduanda em Agronomia. Universidade Federal Rural da Amazônia

Ana Regina da Rocha Araújo

Doutora em Agronomia. Universidade Federal Rural da Amazônia

RESUMO: Nos dias de hoje as questões do gerenciamento de resíduos têm ganhado evidência, em especial dos orgânicos que são gerados em grande quantidade nas cidades e pela agroindústria. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi quantificar o teor nutricional da casquinha e da torta de

palma e avaliar o potencial desses resíduos na geração de biocombustíveis através do processo de pirólise. Partindo dessa perspectiva, esta pesquisa propôs analisar os resíduos vegetais gerados na produção da Palma de Óleo (*Elaeis guineensis*), obtidos na empresa Marborges Agroindústria S/A que está localizada no município de Moju. O estudo está dividido em dois estágios, o primeiro envolve a caracterização dos nutrientes encontrados no material vegetal. Na segunda etapa, esse material passa por um processo de craqueamento térmico-catalítico, feito em escala de bancada, com o objetivo de avaliar posteriormente as propriedades e aplicações dos produtos finais. Sendo assim, os resultados obtidos mostraram que houve uma diferença entre as concentrações dos nutrientes nos resíduos. Com relação à pirólise, o resíduo da casquinha de dendê obteve um maior rendimento, tanto para o biocarvão, quanto para o bio-óleo. Diante disso, conclui-se que a palma de óleo por ser uma cultura largamente cultivada no estado do Pará, gera um grande quantitativo de resíduos que podem ser empregados na produção de bioenergia. A produção de bioenergia a partir de resíduos da produção agropecuária é uma ferramenta importante para evitar a

degradação ambiental e também reduzir os custos na cadeia produtiva. Essa abordagem visa, assim, equilibrar o impacto ambiental, representando um passo significativo rumo a práticas mais saudáveis e sustentáveis.

PALAVRAS-CHAVE: Dendê. Pirólise. Reaproveitamento.

INTRODUÇÃO

Atualmente, a problemática da geração de um grande quantitativo de resíduos industriais e agroindustriais vem contribuindo para a chamada “crise ambiental global”, na qual grande parte desses resíduos são destinados de forma inadequada, o que representa um grande risco tanto para o meio ambiente quanto aos seres humanos (POZZETI; CALDAS, 2019). Nesse sentido, o descarte inadequado pode acarretar em uma série de impactos ambientais, tais como poluição do ar e de corpos hídricos, morte e redução de diversos componentes da fauna e flora e também, principalmente servindo abrigo e alimento para diversos tipos de agentes causadores e vetores de doenças, o que representa um grande risco à saúde humana. (SANTOS JÚNIOR; SOUZA, 2023).

O gerenciamento de resíduos sólidos enfrenta desafios devido a quantidade e heterogeneidade de resíduos gerados e sua variabilidade composicional, por isso o estudo das características desses materiais é de extrema importância para que o reaproveitamento seja efetivo (ENGELMANN et al., 2022). A implementação ou aperfeiçoamento de ações e programas destinados ao reaproveitamento e destinação correta de resíduos sólidos requer comprometimento de toda sociedade, maior planejamento e atenção pelo poder público, e participação efetiva da indústria, promovendo ganhos no âmbito social, econômico e ambiental (SILVA et al., 2022).

Além disso, também é importante abordar sobre o debate acerca da questão energética, o qual perpassa por aspectos sociais, ambientais, econômicos, técnicos e políticos e está inserida em todas as esferas do poder, em nível municipal, estadual, federal e até mesmo global. No Brasil, a questão energética é uma temática de ampla discussão, uma vez que o país ainda gera a maior parte da energia em usinas hidrelétricas, entretanto a utilização de fontes alternativas de energia se mostram como possíveis caminhos, frente a questões tais como as mudanças climáticas, as mudanças no estilo de vida da sociedade moderna e também como forma de enfrentamento aos impactos causados pelo uso de combustíveis fósseis (COLLAÇO; BERMANN, 2017).

A utilização de biomassa como fonte para geração de energia é uma estratégia para minimizar os impactos ambientais advindos da utilização indiscriminada de combustíveis fósseis. Nesse viés, a pirólise ou craqueamento térmico-catalítico é um processo no qual ocorre na ausência de oxigênio e é controlado por faixas de temperatura e promove a degradação da biomassa por meio de aquecimento ao final são gerados três subprodutos: biocarvão, bio-óleo e gás (MOTA et al., 2015).

A Palma de óleo (*Elaeis guineensis*) é uma planta de origem africana, da família das palmeiras (Arecaceae) e possui grande destaque no agronegócio, pois é a cultura oleaginosa com maior produção de óleo por unidade de área, podendo chegar de 6 a 8 t/ha/ano de óleo, superando com grande vantagem o potencial de produção de óleo da soja (BARROS; FERNANDES, 2012). Além disso, a produção da palma gera um grande quantitativo de subprodutos, tais como a casquinha, o cacho vazio e a torta de dendê, que possuem um elevado teor de nutrientes e um grande potencial para geração de biocombustíveis (ALMEIDA, 2020).

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi quantificar o teor nutricional da casquinha e da torta de palma e avaliar o potencial desses resíduos na geração de biocombustíveis através do processo de pirólise.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo está dividido em duas etapas, tendo a primeira como caracterização dos nutrientes presentes no material vegetal e a segunda etapa a submissão desse material ao processo de craqueamento térmico-catalítico com o intuito de observar posteriormente as propriedades e aplicações dos produtos finais.

Obtenção e tratamento das amostras

As amostras foram obtidas na empresa Marborges Agroindústria S/A, localizada no município de Moju. Posteriormente o material foi trazido para Universidade Federal do Pará, onde foi realizada a secagem do material em estufa de circulação forçada de ar a temperatura de 105° C por um período de 24 horas para redução do teor de umidade.

Caracterização química

A Caracterização Química foi realizada no laboratório de Análise de Plantas, localizado na Universidade Federal Rural da Amazônia - Campus Belém. Para a análise de elementos em material vegetal, adotou-se a metodologia descrita por Malavolta, Vitti e Oliveira(1997). Para a análise quantitativa dos elementos, foram empregados os seguintes métodos: a colorimetria usando o reagente amarelo de vanadato em um espectrofotômetro UV-visível foi utilizado para a determinação do teor de fósforo total. Além disso, a técnica de MP-AES (Espectrometria de Emissão Atômica com Plasma Induzido por Micro-ondas) foi empregada para a determinação dos micronutrientes Mo, Cu, Zn, Mn, bem como dos macronutrientes Ca, K e Mg.

Para determinação dos macronutrientes e micronutrientes e foi realizada a digestão dos resíduos no bloco digestor, com a adição do ácido perclórico (HClO₄) e ácido nítrico (HNO₃ (1/2)), em uma determinada temperatura na câmara. A digestão Nitroperclórica,

iniciou com a temperatura em 110°C, e a cada 10 minutos, era feita a observação, para ver o aumento da temperatura, e a dissolução dos resíduos. Cada biomassa obteve um determinado resultado, em relação à câmara de digestão Nitroperclórica. A temperatura máxima atingida foi de 220°C.

Para extração dos elementos orgânicos foi utilizado o método de digestão nítrico-perclórico. Inicialmente, 500 mg da amostra seca e moída foram pesados e adicionados a um tubo de digestão. Em seguida, foi adicionado uma mistura de HNO₃ e HClO₄ na proporção 2:1 (v/v), com volume de 6ml. As amostras foram submetidas a aquecimento gradual em um bloco digestor modelo, atingindo 60°C para redução do volume até a metade. Posteriormente, a temperatura foi aumentada 20°C no intervalo de 20min até atingir 220°C para a formação de fumos brancos de HClO₄. Após a digestão, o extrator foi transferido para um balão volumétrico de 50 ml, diluído com água deionizada e o volume foi completado até a marca com água deionizada, obtendo-se o extrato B.

Para a determinação analítica dos elementos presentes no extrato B, foram utilizados os seguintes métodos: colorimetria amarelo de vanadato em espectrofotômetro UV visível, para a determinação do fósforo total; MP-AES (Espectrometria de emissão atômica com plasma induzido por micro-ondas), modelo Agilent 4200, para a determinação dos micronutrientes Mo, Cu, Zn, Mn e macronutrientes Ca, K e Mg. Os reagentes, utilizados para o preparo da mistura reativa, foram molibdato de amônio (0,5%) e vanadato de sódio (0,25%).

A concentração dos elementos e compostos foi determinada por meio de curvas de calibração previamente preparadas. Todos os procedimentos analíticos foram realizados em triplicata para garantir a precisão do resultado.

Craqueamento Térmico-Catalítico

O Craqueamento Térmico-catalítico foi realizado em escala de bancada (Figura 1) no laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental (LAESA), localizado na Universidade Federal do Pará, campus Belém.

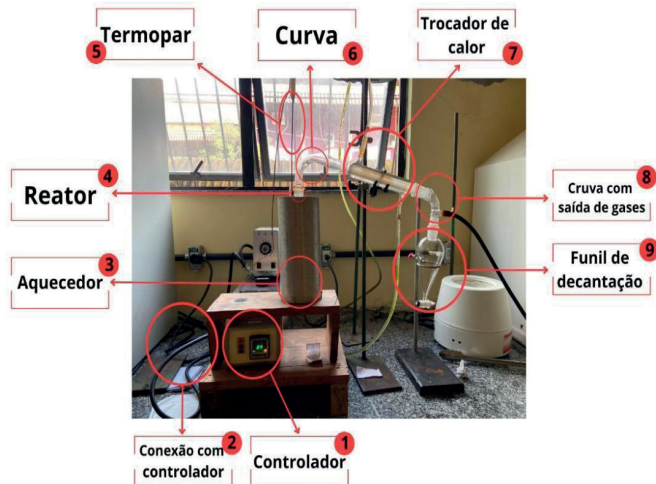


Figura 1. Ilustração do craqueamento térmico-catalítico em escala de bancada.

Fonte: Os autores, 2023.

Foram realizadas utilizando como matéria-prima a casquinha e a torta de Dendê, coletados da empresa Marborges. Para a reação foram utilizados 25 g de cada resíduo, adicionando mais 2,5 g do catalisador carbonato de sodio (Na_2CO_3), correspondendo sempre a 10% da massa do resíduo. Primeiramente, a matéria-prima e o catalisador foram inicialmente pesados em uma balança e em seguida foram depositados no reator de vidro bolossilicatado 250 ml.

Para iniciar o processo, o craqueamento térmico-catalítico de bancada foi ajustado a temperatura (440°C), e o tempo de processamento (41 min) para atingir a temperatura máxima, e o tempo de manutenção da temperatura máxima (31 min). Durante o processo, são gerados o Produto Líquido (PL), e o Produto Líquido Oleoso (PLO), além da carbonização da biomassa, identificado de (biocarvão).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da caracterização química dos materiais e do processo de pirólise estão listados nas tabelas 1, 2 e 3.

	P	K	Ca	Mg
Casquinha	-	1,3	0,6	0,6
Torta	-	2,8	1,6	1,8

Tabela 1. Macronutrientes presentes nos materiais, em g/Kg

Fonte: Autores (2023)

	Zn	Cu	Mo	Mn	Fe
Casquinha	26,7	15,5	7,3	321,0	4099,4
Torta	45,0	26,2	11,4	461,0	5915,6

Tabela 2. Micronutrientes presentes nos materiais, em mg/Kg

Fonte: Autores (2023)

	Biocarvão	PL	PLO
TORTA DE DENDE	11,61	6,43	2,51
CASQUINHA DE DENDÊ (1)	19,47	3,47	3,74
CASQUINHA DE DENDÊ (2)	19,12	0,07	0,25

PL = produto líquido, PLO = Produto líquido orgânico.

Tabela 3. Massas dos produtos obtidos, em gramas

Fonte: Autores (2023)

Com relação à composição nutricional, pode-se verificar uma diferença considerável nos teores de todos os nutrientes entre os resíduos. Os valores obtidos neste estudo diferiram dos encontrados por Alexandre (2022) que ao avaliar a produção de biomassa de diferentes genótipos de dendê híbrido quantificou os valores médios dos teores de nutrientes no cacho da palma de óleo, os quais são, em g/kg, 0,60 para P, 5,74 para K, 0,74 para Ca e 0,71 para Mg. Já para micronutrientes os valores encontrados, em mg/kg, foram de 12,99, 12,87, 80,41 e 11,08 para Cu, Zn, Fe e Mn, respectivamente e concluiu que há uma grande variabilidade genética entre os genótipos, mas que através de métodos de manejo é possível maximizar o potencial produtivo.

Além disso, ao avaliar a aplicabilidade da utilização da folha do dendê para realização de compostagem, Silva (2019) encontrou os seguintes valores, em g/kg, de macronutrientes presentes na parte aérea da palma: 1,4, 1,4, 3,9 e 3,3 para P, K, Ca e Mg respectivamente e concluiu que esse material apresentou resultados satisfatórios quando combinado ao esterco caprino para produção de composto orgânico.

A torta de dendê é um resíduo largamente utilizado na indústria de alimentação animal, em especial para bovinos, porém também apresentaram bons resultados na suplementação de ovinos e caprinos, uma vez que possui altos teores de proteína bruta e fibras e podem representar soluções mais economicamente viáveis. Entretanto é necessário observar os níveis oferecidos, uma vez que níveis acima do recomendado podem reduzir a taxa de consumo, comprometendo o rendimento produtivo (VISONÁ-OLIVEIRA, 2015; SANTA ROSA, 2022).

Nos resultados da pirólise, houve um rendimento maior da casquinha de dendê, tanto para o biocarvão quanto para o bio-óleo (PLO). Nesse sentido, Oliveira (2016), ao avaliar a viabilidade da produção de bioenergia a partir dos resíduos do cacho sem frutos e torta de dendê concluiu que esses resíduos possuem alto potencial de reutilização na indústria de energia, gerando carvão vegetal ou bio-óleo. Além disso, essas conclusões estão de acordo com Santos (2022), que concluiu também que os resíduos da produção do óleo de palma possuem grande aplicabilidade como fonte de biocombustíveis e através de uma revisão sistemática observou que a maioria das pesquisas relacionadas à produção energética tem foco na geração de biogás.

Diante disso, destaca-se a importância da gestão de resíduos da cadeia da palma de óleo, dada a grande relevância dessa cultura para o estado do Pará e o emprego dos resíduos de palma representam uma alternativa tanto para preservação ambiental como também para de biocombustíveis que podem ser reintegrados à cadeia produtiva da dendeicultura.

CONCLUSÃO

A palma de óleo é uma cultura que possui grande relevância no Pará, uma vez que o estado é responsável por mais de 90% da produção. Dessa forma, são gerados grandes quantitativos de resíduos que podem ser empregados na produção de biocombustíveis.

A produção de bioenergia a partir de resíduos da produção agropecuária é uma ferramenta importante para evitar a degradação ambiental e também reduzir os custos na cadeia produtiva. Essa abordagem visa, assim, equilibrar o impacto ambiental, representando um passo significativo rumo a práticas mais saudáveis e sustentáveis.

REFERÊNCIAS

ALEXANDRE, Jaqueline do Carmo. **Eficiência nutricional e produção de biomassa de clones de palma-de-óleo (*Elaeis guineenses* Jacq)**. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2022.

ALMEIDA, K. C. **Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos de Palma de Óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) em sistemas agroflorestais e monocultivo na Amazônia Oriental**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2020.

ARAÚJO, D. F. C.; SOBRINHO, L. A. O futuro dos biocombustíveis: Análise do cenário atual e perspectivas para o setor no Brasil. **Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia vinculada ao Departamento de Geografia da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - Brasil**. Volume 7, 2023. DOI: 10.22481/rg.v7.e2023.e12766.

BARROS, B.B; FERNANDES, L.O. Torta de Dendê: Alimento Alternativo para Nutrição de Ruminantes no Pará. **Caderno de Pós Graduação da FAZU**, v. 3, Minas Gerais, 2012.

OLIVEIRA, B. F. H. **Estudo da pirólise da biomassa de dendê como fonte de energia**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química Industrial) – Faculdade de Química, Instituto de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.

COLLAÇO, F. M. A.; BERMANN, C. Perspectivas da Gestão de Energia em âmbito municipal no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 31, n. 89, p. 213–235, jan. 2017.

ENGELMANN, P. de M.; LIMA, J. E. A. de; PIRES, M. J. R. Caracterização do rsu da cidade de Xangrilá/RS visando o aproveitamento em processos de wte. In: ALMEIDA, I. M. S. de; SILVA, K. A. da; EL-DEIR, S. G. (Org.). **Resíduos sólidos: Gestão e gerenciamento**. 1ª ed. Recife: EDUFRPE, 2022. p. 116-131.

POZZETTI, V. C.; CALDAS, J. N.. O descarte de resíduos sólidos no âmbito da sustentabilidade. **Revista de Direito Econômico e Socioambiental**, v. 10, n. 1, p. 183-205, 2019.

SANTA ROSA, C. E. A. **Análise econômica da utilização de silagem de casca de mandioca com torta de dendê para uso na alimentação animal**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Zootecnia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, PA, 2022.

SANTOS, D. R. **Aproveitamento energético do resíduo de óleo de palma**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, PR, 2022.

SANTOS JÚNIOR, R. S.; SOUZA, R. R. Panorama dos impactos causados pelo descarte inadequado dos resíduos sólidos na biodiversidade. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 8, n. 2, p. 062–069, 2023. DOI: 10.24221/jeap.8.2.2023.5284.062-069.

SILVA, A. C. da; SILVA, R. C. P. da; JUCÁ, J. F. T.; VITORINO, K. M. N. Programas municipais de coleta seletiva: contexto nacional. In: ALMEIDA, I. M. S. de; SILVA, K. A. da; EL-DEIR, S. G. (Org.). **Resíduos sólidos: Gestão e gerenciamento**. 1ª ed. Recife: EDUFRPE, 2022. p. 46-55.

PINTO, R. J. SANTOS, V L. M. Energia Eólica no Brasil: Evolução, Desafios e Perspectivas. **RISUS - Journal on Innovation and Sustainability**. Volume 10, número 1 – 2019. DOI: 10.24212/2179-3565.2019v10i1p124-142.

MOTA, F. D. A. S.; VIEGAS, R. A.; LIMA, A. A. S.; SANTOS, F. F. P. S.; CASELLI, F.D.T.R. Pirólise da biomassa lignocelulósica: Uma revisão pyrolysis of lignocellulose biomass: A review. **Revista GEINTEC**, v. 5, p. 2511-2525, 2015.

NAHUM, J. S.; SANTOS, L. S.; SANTOS, C. B. Formação da Dendeicultura na Amazônia Paraense. **Mercator**, Fortaleza, v.19, e19007, 2020. DOI: 10.4215/rm2020.e19007.

VISONÁ-OLIVEIRA, M. FERREIRA, I. C.; MACEDO JUNIOR, G. L.; SOUSA, L. F.; SOUSA, J. T. L.; SANTOS, R. P. Consumo e digestibilidade de nutrientes da torta de dendê na dieta de ovinos. **Ciência Animal Brasileira**, v. 16, n. 2, p. 179–192, abr. 2015.

BRASIL. **Normas referentes às operações de financiamento ao segmento da palma de óleo, nos termos do zoneamento**. Casa Civil - Subchefia para Assuntos Jurídicos. Decreto nº 7.172, de 7 de Maio de 2010.

RAISSA RACHEL SALUSTRIANO DA SILVA-MATOS: Graduada em Ciências Biológicas pela Universidade de Pernambuco - UPE (2009), Mestre em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas pela Universidade Federal do Piauí - UFPI (2012), com bolsa do CNPq. Doutora em Agronomia pela Universidade Federal da Paraíba - UFPB (2016), com bolsa da CAPES. Atualmente é professora adjunta do curso de Agronomia do Centro de Ciências de Chapadinha (CCCh) da Universidade Federal do Maranhão (UFMA). Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em fitotecnia, fisiologia das plantas cultivadas, propagação vegetal, manejo de culturas, nutrição mineral de plantas, adubação, atuando principalmente com fruticultura e floricultura.

<http://lattes.cnpq.br/0720581765268326>.

JANAIA NE FERREIRA DOS SANTOS: Graduada em Agronomia pela Universidade Federal do Maranhão (UFMA) do Centro de Ciências de Chapadinha (CCCh). Fez parte do Programa de Residência em Fruticultura no Leste Maranhense da Universidade Federal do Maranhão (UFMA). Atualmente é mestranda do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCAM) da Universidade Federal do Maranhão e bolsista pela Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico Tecnológico do Estado do Maranhão (FAPEMA). Faz parte dos Grupos de Pesquisa em Fruticultura no Maranhão (FRUTIMA) e do Grupo de Bioinsumos no Maranhão Bioima.

<http://lattes.cnpq.br/967850054910769>.

GEOVANNA KELLY PEREIRA SILVA: Graduada em Agronomia na Universidade Federal do Maranhão, Campus: Centro de Ciências de Chapadinha. Atualmente, participo do grupo de estudo em Solos e Biodiversidade, além disso sou membro ativo do Laboratório de Química Orgânica, Química de Produtos Naturais e Ecologia Química (LOPNEQ).

<https://lattes.cnpq.br/2089561268518436>.

A

Ácido abscísico 17, 18, 19, 20, 22, 23, 24, 25, 27, 28

Ácido giberélico 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 18

Adubação parcelada 95

Análise sensorial 104, 116

Aplicação 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 20, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 30, 31, 32, 33, 34, 37, 38, 40, 41, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 72, 73, 94, 95, 96, 98, 99, 100, 101

Avena brevis 51, 52

Avena sativa 51, 52, 54, 60, 62

Avena strigosa 51, 52, 62, 63

C

Características agronômicas 65, 68

Carbono no solo 77, 78, 79, 80, 81, 84, 86, 88, 89

Citrus 7, 9, 10, 33, 70, 74, 75, 76

Coffea arabica L. 12, 16

Coloração de uvas 17, 20

Crescimento 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 14, 17, 19, 20, 23, 27, 30, 32, 35, 53, 54, 94, 95, 96, 98, 99, 100, 101

D

Dendê 118, 119, 120, 122, 123, 124, 125

Drones 31, 32, 33, 36, 38, 40, 41, 47, 48, 49

E

Espécies nativas 77, 78, 80, 93

F

Fermentação alcoólica 104

Fitossanidade 31, 49, 75, 76

G

Greening 70, 74, 75

H

Helianthus annuus L. 65, 66

I

Ingrediente amargo 104

L

Lúpulo 104, 115

M

Melhoramento genético 6, 7, 32, 51, 53, 58, 60, 62, 70

O

Olerícolas 95

P

Pirólise 118, 119, 120, 122, 124, 125

Produção frutífera 1, 3, 8, 9

Produtividade 1, 2, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 31, 35, 36, 37, 49, 50, 65, 67, 68, 69, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101

Psilídeo 70, 71, 72, 73

R

Raphanus sativus 94, 95, 101

Reaproveitamento 119

Reflorestamento 77, 78, 79, 80, 81, 85, 86, 87, 88, 89

S

Sombreamento 12, 14, 15, 16





SSR 51, 52, 53, 54, 60

V

Volume 31, 32, 37, 46, 55, 83, 121, 124, 125

O FUTURO DAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS

INOVAÇÕES E
DESAFIOS

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br

O FUTURO DAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS

INOVAÇÕES E
DESAFIOS



www.atenaeditora.com.br



contato@atenaeditora.com.br



[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)



www.facebook.com/atenaeditora.com.br