



ISSN 2178-7662

CERRADO AGROCIÊNCIAS

REVISTA DO CENTRO UNIVERSITÁRIO DE PATOS DE MINAS

VOLUME 16 / 2025



Revista do Centro Universitário de Patos de Minas

UNIPAM | Centro Universitário de Patos de Minas

Reitor

Henrique Carivaldo de Miranda Neto

Pró-reitora de Ensino, Pesquisa e Extensão

Maria Marta do Couto Pereira Rodrigues

Pró-reitor de Planejamento, Administração e Finanças

Pablo Fonseca da Cunha

Coordenadora de Extensão

Adriana de Lanna Malta Tredezini

Diretora de Graduação

Mônica Soares de Araújo Guimarães

Coordenador do Núcleo de Editoria e Publicações

Geovane Fernandes Caixeta

A revista **Cerrado Agrociências** é um periódico anual do Centro Universitário de Patos de Minas que visa publicar artigos científicos, revisões bibliográficas e notas científicas referentes às áreas de Ciências Agrárias, Meio Ambiente e áreas correlatas.

Catálogo na Fonte
Biblioteca Central do UNIPAM

C417 Cerrado Agrociências [recurso eletrônico] / Centro Universitário de Patos de Minas. – Dados eletrônicos. – N. 1 (2010)-. – Patos de Minas : UNIPAM, 2010-

Anual

Disponível em: <<https://revistas.unipam.edu.br>>

ISSN 2178-7662

1. Ciências agrárias – periódicos. 2. Meio ambiente. I. Centro Universitário de Patos Minas. II. Título.

CDD 630.5

Centro Universitário de Patos de Minas

Rua Major Gote, 808 - Caiçaras

38702-054 Patos de Minas - MG Brasil

Telefax: (34) 3823-0300 web: www.unipam.edu.br

NEP | Núcleo de Editoria e Publicações

Telefone: (34) 3823-0341

<http://nep.unipam.edu.br>

CERRADO AGROCIÊNCIAS

Revista do Centro Universitário de Patos de Minas

ISSN 2178-7662

Volume 16, 2025

Patos de Minas: Cerrado Agrociências, UNIPAM, v. 16: 1-183



Centro Universitário de Patos de Minas



Núcleo de Editoria e Publicações

Editor

Walter Vieira da Cunha (UNIPAM)

Conselho Editorial Interno

Carlos Henrique Eiterer de Souza (UNIPAM)

Diego Henrique da Mota (UNIPAM)

Vanessa Junia Machado (UNIPAM)

Wellington Ferrari da Silva (UNIPAM)

Conselho Consultivo

Alfredo Júnior Paiola Albrecht (UFPR)

Ana Paula Schwantes (ESALQ/USP)

André Santana Andrade (UNIPAM)

Aquiles Júnior da Cunha (UNICERP)

Arthur Arrobas Martins Barroso (UNESP)

Bruno Bernardes de Andrade (UNIPAM)

Bruno Sérgio Vieira (UFU)

Daiane Aparecida Fausto (ESALQ/USP)

Daniel Oliveira e Silva (UNIPAM)

Danielle Otte Carrara Castan (ESALQ/USP)

Denis Santiago da Costa (UEL)

Derblai Casaroli (UFG)

Diego Henrique da Mota (UNIPAM)

Durval Dourado Neto (ESALQ/USP)

Elisa Queiroz Garcia (UNIPAM)

Evandro Binotto Fagan (UNIPAM)

Everaldo Antônio Lopes (UFV-CRP)

Fábio Oliveira Diniz (ESALQ/USP)

Fernando Dias da Silva (UNIPAM)

Flávio Henrique Silveira Rabêlo (CENA/USP)

Francisco Guilhien Gomes Júnior (ESALQ/USP)

Gilson Passos de Moraes (UNIPAM)

Gleize Leviski de Brito (UNESP)

Guilherme Nascimento Cunha (UNIPAM)

Gustavo Rodrigues Barbosa (UNIPAM)

Jackeline de Siqueira Castro (UFV)

Jackeline Bruna Sousa (ESALQ/USP)

Jair Fernando de Oliveira (UNIPAM)

Janaina Oliveira da Silva (UNESP)

Janaine Myrna Rodrigues Reis (UNIPAM)

Jérssica Nogueira Soares (ESALQ/USP)
José Laércio Favarin (ESALQ/USP)
José Maurício da Rocha Junior (UNIPAM)
José Rodolfo de Oliveira (UNIPAM)
Juliana Borges Pereira (UNIPAM)
Klaus Reichardt (ESALQ/USP)
Lara Caroline Borges Moreira Mota (UFU)
Leandro Paiola Albrecht (UFPR)
Lucas da Silva Mendes (UNIPAM)
Luis Oliveira Lopes (UNIPAM)
Marcela Cristina Brunelli (UNESP)
Marco Aurélio Guerra Pimentel (CNPMS-EMBRAPA)
Marcos Altomani Neves Dias (ESALQ/USP)
Marília Caixeta Sousa (UNESP)
Maurício Antônio de Oliveira Coelho (UNIPAM)
Nádia Grandi Bombonato (UNIPAM)
Natália Arruda (ESALQ/USP)
Nívea Maria Borges Pereira (UNIPAM)
Norma Aparecida Borges Bitar (UNIPAM)
Paulo César Tavares de Melo (ESALQ/USP)
Pedro Jacob Christofolletti (ESALQ/USP)
Rafaela Alenbrant Migliavacca (ESALQ/USP)
Renan Fonseca Nascentes (UNESP)
Ronan Magalhães de Souza (UFRA)
Tatiane Beloni (UFSCAR)
Victor Gustavo Soares Ribeiro (UFV)
Vinícius José Ribeiro (UFV)
Walquíria Fernanda Teixeira (ESALQ/USP)
Welder Ângelo Baldassini (ESALQ/USP)

Revisão

Geovane Fernandes Caixeta
Rejane Maria Magalhães Melo

Diagramação e Formatação

Jordana Bastos Mesavila

SUMÁRIO

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Caracterização de genes Cry e Vip em isolados de <i>Bacillus thuringiensis</i> do Cerrado Mineiro | 9 |
| Guilherme Mateus de Andrade Walter Vieira da Cunha | |
| Efeito alelopático de aveia (<i>Avena strigosa</i>) na germinação da soja (<i>Glycine max</i>).... | 24 |
| João Vitor Ebert Hellwig Aline Jaime Leal Adriane da Fonseca Duarte | |
| Interação entre bactérias fixadoras de nitrogênio e nutrição nitrogenada na cultura da soja | 33 |
| Letícia Campos de Melo Evandro Binotto Fagan. | |
| Atenuadores de estresse hídrico no cafeeiro | 54 |
| André de Melo Almeida Marina Rodrigues dos Reis | |
| Extrato de algas na produção do tomate cereja | 69 |
| Pedro Henrique Andrade Caetano Janaine Myrna Rodrigues Reis | |
| Influência do sistema de cultivo integrado Lavoura- Pastagem-Floresta (ILPF) na diversidade de <i>Hymenoptera</i> (Insecta) | 79 |
| Natan Bernardes Lima Marques Elisa Queiroz Garcia | |
| Manejo de fertilizantes nitrogenados no cultivo de milho verão | 105 |
| Gustavo Domingos Mota Lima Carlos Henrique Eiterer de Souza | |
| Potencial inseticida de <i>Bacillus thuringiensis</i> no manejo sustentável de <i>Spodoptera frugiperda</i> (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em culturas agrícolas..... | 123 |
| Marielli de Camargos Resende Elisa Queiroz Garcia | |
| Análise do vigor de sementes de duas variedades de <i>Sorghum bicolor</i> L. através do teste de frio | 135 |
| Letícia Alves Zacarias Wellington Ferrari da Silva | |
| Distribuição e desenvolvimento da cultura do milho em função de velocidades de semeadura..... | 146 |
| Tiago Silva Lima Rodrigo Mendes de Oliveira | |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Tratamento de sementes de soja com <i>Bacillus methyilotrophicus</i> para o manejo de <i>Meloidogyne javanica</i> | 154 |
| Carlos Marcelo Rodrigues dos Reis | |
| Rodrigo Mendes de Oliveira | |
| Efeito do número de sementes na semeadura sobre a produção de trigo (<i>Triticum aestivum</i> L.) para silagem | 165 |
| Maurício Antônio de Oliveira Coelho | |
| Marcelo Rodrigues Martins | |
| Captura de fêmeas da broca-do-café com utilização de armadilhas PET | 173 |
| Rafaela Camila Bomtempo | |
| Walter Vieira da Cunha | |

Caracterização de genes Cry e Vip em isolados de *Bacillus thuringiensis* do Cerrado Mineiro

*Characterization of cry and vip genes in Bacillus Thuringiensis strains
from the Minas Gerais Cerrado*

GUILHERME MATEUS DE ANDRADE

Discente de Agronomia (UNIPAM)
guilhermemateus@unipam.edu.br

WALTER VIEIRA DA CUNHA

Professor orientador (UNIPAM)
walter@unipam.edu.br

Resumo: A necessidade global de mitigar perdas de produtividade causadas por pragas, estimadas em até 40%, tem impulsionado um aumento de aproximadamente 100% no uso de pesticidas e, paralelamente, o fortalecimento do mercado de biopesticidas. Nesse cenário, destaca-se a bactéria *Bacillus thuringiensis* (Bt) e suas toxinas inseticidas, entre elas Cry1, Cry2 e Vip3. Considerando a pressão seletiva exercida sobre as populações de pragas e a busca por novas moléculas inseticidas em isolados adaptados a diferentes ambientes, este estudo teve como objetivo identificar os genes *cry1*, *cry2* e *vip3* em isolados de Bt provenientes do Cerrado Mineiro. A metodologia integrou o desenho de primers específicos, obtidos por análises *in silico* de regiões conservadas dos genes-alvo, a ensaios laboratoriais de PCR. O DNA genômico de 35 isolados morfológicos de Bt, obtidos a partir de amostras de solo submetidas a choque térmico, foi extraído, amplificado e analisado por eletroforese. Os resultados indicaram uma frequência de 48,60% para o gene *cry1* e ocorrência reduzida para *cry2* e *vip3*, detectados conjuntamente apenas no Isolado 44, que apresentou o perfil completo dos três genes. Essa baixa frequência, distinta do observado em outras regiões, sugere variabilidade geográfica entre isolados. A maior estabilidade das proteínas Cry, em relação às Vip, contribui para explicar a predominância de *cry1*. O Isolado 44, por conter *cry1*, *cry2* e *vip3*, apresenta potencial inseticida relevante contra Lepidópteros, destacando-se como candidato para futuras análises de expressão proteica e bioensaios, etapas essenciais para confirmar sua efetividade.

Palavras chave: controle biológico; biotecnologia; PCR.

Abstract: The global need to mitigate productivity losses caused by pests—estimated at up to 40%—has driven an approximately 100% increase in pesticide use and, in parallel, strengthened the biopesticide market. In this context, the bacterium *Bacillus thuringiensis* (Bt) and its insecticidal toxins, including Cry1, Cry2, and Vip3, have gained prominence. Considering the selective pressure exerted on pest populations and the ongoing search for new insecticidal molecules in isolates adapted to diverse environments, this study aimed to identify the *cry1*, *cry2*, and *vip3* genes in Bt isolates from the Cerrado region of Minas Gerais. The methodology combined the design of specific primers—obtained through *in silico* analyses of conserved regions of the target genes—with laboratory PCR assays. Genomic DNA from 35 morphological Bt isolates, obtained

from soil samples subjected to heat shock, was extracted, amplified, and analyzed via electrophoresis. The results indicated a frequency of 48.60% for the *cry1* gene and reduced occurrence of *cry2* and *vip3*, which were detected together only in Isolate 44, the sole isolate exhibiting the complete profile of all three genes. This low frequency, distinct from patterns observed in other regions, suggests geographic variability among isolates. The greater stability of Cry proteins, compared with Vip proteins, helps explain the predominance of *cry1*. Isolate 44, which contains *cry1*, *cry2*, and *vip3*, presents relevant insecticidal potential against Lepidoptera and emerges as a promising candidate for future protein expression analyses and bioassays—essential steps to confirm its effectiveness.

Keywords: biological control; biotechnology; PCR.

1 INTRODUÇÃO

A produção global de alimentos enfrenta, de forma contínua, perdas expressivas de produtividade decorrentes da ação de pragas e doenças. De acordo com a Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), tais perdas podem atingir até 40%, o que historicamente estimulou a intensificação do uso de pesticidas, resultando em um aumento estimado de 100% no período de 1990 a 2022 (FAO, 2024). Paralelamente, observa-se uma expansão significativa do mercado de biopesticidas, cujo valor foi estimado em US\$ 8 bilhões em 2023, com projeções que indicam a possibilidade de alcançar US\$ 22 bilhões até 2033 (Mawcha *et al.*, 2025). Esse crescimento é particularmente notável no Brasil, onde mais de 50% dos produtores adotam soluções biológicas, índice superior ao observado em países como os Estados Unidos (Fapesp, 2024).

Nesse contexto, entre os biopesticidas de maior utilização global, destaca-se a bactéria *Bacillus thuringiensis* (Bt), que compreende tanto diversos eventos transgênicos quanto formulações comerciais amplamente empregadas (AGROFIT, 2025; ISAAA, 2025). Presente em diferentes ecossistemas ao redor do mundo, Bt é reconhecida por sua capacidade de produzir proteínas com atividades inseticida, fungicida e nematocida, entre outras. Sua eficácia está associada, em grande medida, à diversidade de toxinas que sintetiza, destacando-se, entre as mais utilizadas, as proteínas Cry1, Cry2 e Vip3 (Santos *et al.*, 2022; Parra, 2023).

Os genes que codificam tais toxinas apresentam ampla distribuição no território brasileiro (Berçot *et al.*, 2023). Ademais, cepas isoladas em regiões específicas podem demonstrar maior efetividade frente a populações locais de insetos-praga, além de maior adaptação às condições ambientais regionais (Vilas-Bôas; Lemos, 2004). A utilização e a pesquisa de variantes desses genes são consideradas estratégicas, uma vez que se trata de grupos proteicos amplamente caracterizados, com perfis de segurança consolidados e histórico de uso em diversos países. Tais características favorecem a inserção de novas proteínas derivadas desses grupos no mercado (Gupta; Kumar; Kaur, 2021; Palma *et al.*, 2014).

Por essa razão, a identificação e a caracterização de novos isolados de *Bacillus thuringiensis* (Bt), com perfis de toxicidade distintos e possíveis variações de moléculas já empregadas, constituem etapas essenciais para a sustentabilidade do controle biológico e de eventos transgênicos. A pressão seletiva exercida sobre as populações de

pragas reforça a necessidade de prospecção contínua por novas moléculas inseticidas. Diante desse cenário, o presente estudo tem como objetivo identificar genes associados à produção de moléculas inseticidas em isolados de *Bacillus thuringiensis* provenientes do cerrado mineiro, com ênfase nos genes *cry1*, *cry2* e *vip3*.

2 METODOLOGIA

Os experimentos foram conduzidos no Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), no Laboratório de Genética e Biotecnologia (GENEB), abrangendo análises *in silico* e ensaios laboratoriais.

Para o desenho dos *primers* específicos, foram utilizadas ferramentas disponíveis na plataforma do National Center for Biotechnology Information (NCBI). Os genes completos referentes às proteínas de interesse possuem entradas catalogadas no banco de dados GenBank, conforme apresentado no Quadro 1. As sequências foram submetidas ao software MEGA, versão 12.0.11 (Kumar *et al.*, 2024), aplicando-se o algoritmo ClustalW, em suas configurações padrão, para o alinhamento múltiplo de cada conjunto gênico. Esse procedimento permitiu a avaliação estatística da proximidade entre as sequências e a identificação de regiões conservadas. Adicionalmente, utilizou-se a ferramenta Basic Local Alignment Search Tool (BLAST), nas configurações padrão da plataforma, para verificar a similaridade dos alvos e, desse modo, subsidiar o desenho de *primers* específicos para as regiões selecionadas.

Quadro 1: Códigos de acesso para sequências alvo Cry e Vip utilizados para caracterização de genes *cry* e *vip* em isolados de *Bacillus thuringiensis* do Cerrado Mineiro. Patos de Minas (MG), 2025

| Gene | Código de Acesso NCBI |
|-------------|-------------------------------------------------|
| <i>Cry1</i> | JN794058.1; AF081790.1; AF081248.1; AF288683.1. |
| <i>Cry2</i> | AF200816.1; EF094885.1; GQ866915.1; DQ361266.1. |
| <i>Vip3</i> | JN990981.1; KU522245.1; FJ494817.1; MH363732.1. |

As porções conservadas foram submetidas à ferramenta “Primer-BLAST”, a qual gerou sequências de *primers* para amplificação gênica com base nos seguintes critérios: tamanho entre 18 e 30 nucleotídeos, evitando-se sequências excessivamente curtas, que podem apresentar baixa especificidade ao sítio-alvo, e sequências muito longas, suscetíveis à formação de estruturas secundárias e à redução da eficiência de anelamento; temperatura de *melting* entre 55 °C e 65 °C, faixa na qual aproximadamente metade da sequência alvo se encontra dissociada, favorecendo o anelamento dos *primers*; conteúdo de GC entre 40% e 60%, considerando que pares GC estabelecem três ligações de hidrogênio, em contraste com as duas ligações dos pares AT, conferindo maior estabilidade ao *primer*; e seleção de amplicons curtos, que tendem a apresentar maior eficiência de amplificação e menor suscetibilidade à degradação (Bustin *et al.*, 2020).

As bactérias foram previamente isoladas de diferentes localidades da região do Cerrado Mineiro utilizando-se a metodologia preconizada pela Organização Mundial da Saúde (OMS) para o isolamento de bactérias do gênero *Bacillus* com potencial atividade inseticida (WHO, 1985). Foi coletado 1 g de solo, homogeneizado em 5 mL de solução

salina (0,8 g/L de NaCl) e submetido à agitação a 120 rpm por 10 minutos. Aliquotas de 1 mL foram transferidas para microtubos e incubadas em banho-maria a 80 °C por 12 minutos, seguidos de resfriamento em gelo por 5 minutos. Esse choque térmico teve como finalidade eliminar células vegetativas, preservando apenas estruturas de resistência, como os esporos característicos do gênero *Bacillus*.

Após o tratamento térmico, uma alíquota de 100 µL de cada amostra foi distribuída em placas de Petri contendo meio Ágar-Nutriente (1 g/L de extrato de carne, 2 g/L de extrato de levedura, 5 g/L de peptona, 5 g/L de cloreto de sódio e 15 g/L de ágar). As placas foram incubadas em estufa BOD a 30 °C por 24 horas, permitindo o desenvolvimento de colônias representativas dos isolados, que passaram a compor a coleção do Laboratório GENEB. Uma alíquota de cada colônia foi transferida para microtubos contendo água destilada autoclavada e armazenada em freezer a -20 °C.

Dentre a coleção de *Bacillus* spp., 100 isolados foram inoculados em meio sólido Luria-Bertani (10 g/L de caseína, 5 g/L de extrato de levedura, 10 g/L de cloreto de sódio e 15 g/L de ágar) e incubados a 30 °C por 24 horas para a formação de colônias. Após esse período, as colônias resultantes foram diferenciadas com base em características morfológicas, como coloração e formato. A identificação de *Bacillus thuringiensis* foi realizada considerando-se a formação de colônias com bordas irregulares, centro elevado e coloração branca (Rampersad; Ammons, 2005; Gillis; Mahillon, 2014; Mukhija; Khanna, 2018). Os isolados identificados foram conservados em microtubos contendo água esterilizada e armazenados em freezer a -20 °C.

O DNA genômico foi isolado e purificado conforme Valicente e Silva (2014), com modificações. As bactérias foram cultivadas por 48 horas em 15 mL de meio sólido LB a 25 °C. Após esse período, coletou-se uma porção correspondente a aproximadamente 1 cm² da colônia, a qual foi homogeneizada em 1,5 mL de água duplamente deionizada (H₂O_{dd}) e centrifugada a 12.000 rpm por 5 minutos a 4 °C, permitindo a separação do sobrenadante e do sedimento celular. O sobrenadante foi descartado, e o sedimento foi lavado com H₂O_{dd} e ressuspenso em 700 µL de tampão glicose/Tris/EDTA (50 mM de glicose, 25 mM de Tris-HCl, 10 mM de EDTA, pH 8, contendo 5% de Triton X-100).

Em seguida, adicionaram-se ao microtubo 15 µL de SDS a 20% (p/v) e 5 µL de proteinase K (20 mg/mL), incubando-se a 65 °C por 1 hora. Após a incubação, foram adicionados 1000 µL de solução fenol:clorofórmio:álcool isoamílico e a mistura foi centrifugada a 12.000 rpm por 10 minutos. Da fase aquosa superior, retiraram-se 300 µL, transferindo-os para um novo microtubo, ao qual foram adicionados 300 µL de acetato de potássio 3 M (pH 5,2) e 600 µL de 2-propanol. A amostra foi centrifugada novamente a 12.000 rpm por 10 minutos, e o sobrenadante descartado cuidadosamente.

O sedimento foi lavado com etanol 70% (v/v) gelado, seguido de centrifugação a 12.000 rpm por 5 minutos. O etanol foi descartado e o sedimento seco à temperatura ambiente. Por fim, o material foi ressuspenso em H₂O_{dd} e armazenado em freezer -20°C.

A amplificação do material genético foi realizada por meio da técnica de Reação em Cadeia da Polimerase (PCR), utilizando 13 µL de PCR ReadyMix (Thermo Fisher), 1 µL de *primer forward*, 1 µL de *primer reverse* e 5 µL de amostra, totalizando 20 µL por reação. As condições de amplificação consistiram em desnaturação inicial a 94 °C por 1 minuto, seguida por 35 ciclos de 94 °C por 30 segundos, 57 °C por 45 segundos e 74 °C

por 1 minuto, finalizando com extensão a 74 °C por 10 minutos. Esse protocolo resultou na obtenção de fragmentos amplificados correspondentes aos alvos esperados.

Os produtos de PCR foram analisados por eletroforese em gel de agarose a 2%, contendo solução de brometo de etídio a 5×10^{-5} mL/mL, sob condições de 120 V, 250 mA e 90 W, durante 120 minutos. Decorrido o tempo, os fragmentos foram visualizados em transiluminador sob luz UV.

O material amplificado dos isolados de *Bacillus* spp. foi comparado aos controles positivo e negativo provenientes de cepas comerciais listadas na Tabela 1, cujas proteínas Cry e Vip encontram-se descritas no banco de dados UniProt (UNIPROT, 2025).

Tabela 1: Relação de cepas e proteínas de *Bacillus* spp. utilizadas no experimento
“Caracterização de genes *cry* e *vip* em isolados de *Bacillus thuringiensis*
do cerrado mineiro”. Patos de Minas (MG), 2025

| Cepa | Proteínas |
|---------------------------------------|------------------|
| <i>B. thuringiensis</i> Kurstaki HD-1 | Cry1, Cry2, Vip3 |
| <i>B. subtilis</i> QST 713 | - |

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise das entradas de *cry1*, *cry2* e *vip3* no software MEGA, utilizando a metodologia de alinhamento múltiplo ClustalW, evidenciou regiões de similaridade entre as sequências nucleotídicas correspondentes aos intervalos 1821–3278, 1–1902 e 1–2394, respectivamente. As sequências depositadas no GenBank (Quadro 1) foram, então, submetidas à ferramenta Primer-BLAST para o desenho de *primers* dentro dessas regiões conservadas previamente identificadas. Após esse processo, foram gerados e selecionados pares de primers para cada gene, obedecendo aos critérios de qualidade estabelecidos anteriormente, resultando na Tabela 2. Os *primers* selecionados foram sintetizados e enviados ao laboratório pela empresa Invitrogen.

Tabela 2: *Primers* específicos desenhados na plataforma PRIMER-BLAST para os genes *cry* e *vip*. “Caracterização de genes *cry* e *vip* em isolados de *Bacillus thuringiensis* do cerrado mineiro”. Patos de Minas (MG), 2025

| Primer | Sequência | Tm | Fragmento (pb) |
|---------------|--------------------------|------|----------------|
| <i>cry1</i> F | AATGTGCCAGGTACGGGTTC | 57.8 | 141 pb |
| <i>cry1</i> R | GGCACACTTTTCTCCATCCC | 56.3 | |
| <i>cry2</i> F | ACGCTGTTCTTTATCAATAACTTC | 56.5 | 133 pb |
| <i>cry2</i> R | TGTAAATTGGCTGCCTGTGC | 56.5 | |
| <i>vip3</i> F | ATTGATCGTCCCGCCAAGTG | 58.1 | 132 pb |
| <i>vip3</i> R | GTTCCATTCACCTCCGCCTGT | 57.7 | |

*As siglas Tm e pb são referentes à Temperatura de *melting* e pares de bases.

Dentre os 100 isolados bacterianos de *Bacillus* spp. cultivados em meio LB, foram identificados como potenciais *Bacillus thuringiensis*, com base no perfil morfológico típico da espécie, os seguintes isolados: 01, 02, 04, 05, 06, 07, 08, 11, 14, 15, 20, 33, 35, 36, 39, 44, 47, 52, 53, 57, 61, 62, 64, 65, 67, 72, 74, 81, 86, 87, 88, 89, 90, 95, 100.

Considerando que *B. thuringiensis* integra o grupo *Bacillus cereus* sensu lato, o qual abrange outras nove espécies com morfologia semelhante, a identificação definitiva requer análises genéticas e fenotípicas adicionais. Entre os métodos recomendados destacam-se a detecção do cristal parasporal (Bavykin *et al.*, 2004) e identificação por marcadores genéticos (Fichant *et al.*, 2022).

Os isolados selecionados tiveram seu DNA genômico extraído e submetido à amplificação das regiões correspondentes aos genes *cry1*, *cry2* e *vip3* por meio da técnica de Reação em Cadeia da Polimerase (PCR), utilizando-se primers específicos (Tabela 2). Em seguida, os produtos amplificados foram analisados por eletroforese em gel, possibilitando sua visualização. As Figuras 1 a 3 apresentam os padrões de bandas de acordo com os pesos moleculares esperados, confirmando a presença ou ausência dos genes investigados, conforme sintetizado na Tabela 3.

Tabela 3: Relação da presença de genes *cry* e *vip* em cepas e isolados de *Bacillus* spp com base em perfis eletroforéticos. “Caracterização de genes *cry* e *vip* em isolados de *Bacillus thuringiensis* do cerrado mineiro”. Patos de Minas (MG), 2025

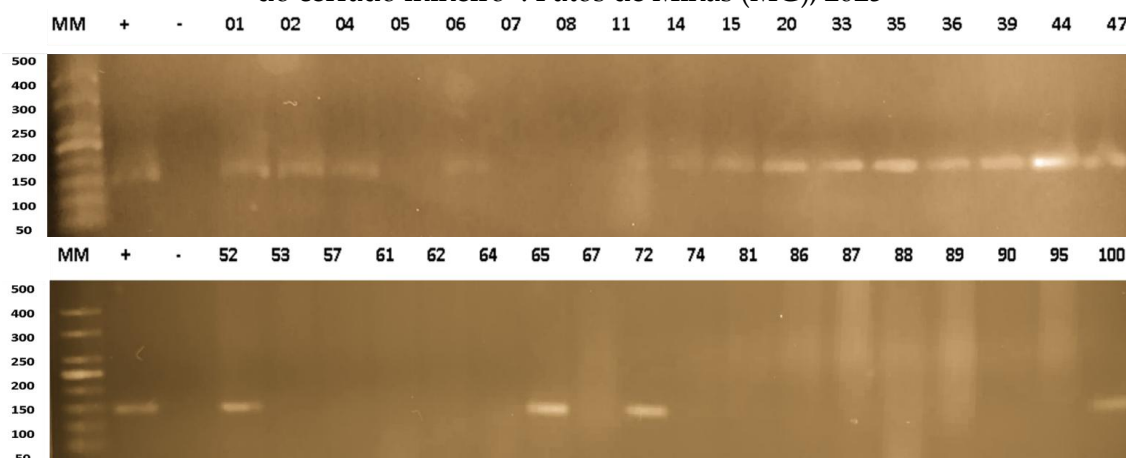
| Cepa / Isolado | <i>cry1</i> | <i>cry2</i> | <i>vip3</i> | Cepa / Isolado | <i>cry1</i> | <i>cry2</i> | <i>vip3</i> |
|-------------------------|-------------|-------------|-------------|----------------|-------------|-------------|-------------|
| <i>B. thuringiensis</i> | + | + | + | 52 | + | | |
| <i>Kurstaki</i> HD-1 | | | | | | | |
| <i>B. subtilis</i> QST | | | | 53 | | | |
| 713 | | | | | | | |
| 01 | + | | | 57 | | | |
| 02 | + | | | 61 | | | |
| 04 | + | | | 62 | | | |
| 05 | | | | 64 | | | |
| 06 | + | | | 65 | | + | |
| 07 | | | | 67 | | | |
| 08 | | | | 72 | | + | |
| 11 | | | | 74 | | | |
| 14 | + | | | 81 | | | |
| 15 | + | | | 86 | | | |
| 20 | + | | | 87 | | | |
| 33 | + | | | 88 | | | |
| 35 | + | | | 89 | | | |
| 36 | + | | | 90 | | | |
| 39 | + | | | 95 | | | |
| 44 | + | + | + | 100 | | + | |
| 47 | + | | | | | | |

*O símbolo “+” indica a presença dos genes em questão, enquanto a ausência de símbolo a falta dos mesmos.

A Figura 1 apresenta o padrão obtido para o par de primers específicos de *cry1*, no qual se observa a presença de bandas em 17 isolados. Céron *et al.* (1995) identificaram o gene *cry1A* em aproximadamente 48% dos isolados avaliados em seu estudo, proporção semelhante à verificada no presente trabalho, no qual 17 dos 35 isolados apresentaram amplificação para *cry1*, correspondendo a 48,6% da população analisada. Resultados compatíveis também foram reportados por Nogueira e Ibarra (2010), que registraram maior frequência de genes *cry1* em populações de *B. thuringiensis*. De modo semelhante, Guidelli-Thuller *et al.* (2008), ao analisarem 1073 isolados, identificaram que 55,7% continham o gene *cry1*.

Devido ao fato de o gene *cry1* apresentar variações polimórficas mesmo em regiões consideradas conservadas, diversos estudos voltados à identificação da família de proteínas Cry1 recorrem ao uso de primers degenerados ou conjuntos de primers específicos (Bravo *et al.*, 1998; Guidelli-Thuller *et al.*, 2008; Lone *et al.*, 2017). Juárez-Pérez *et al.* (1997) destacam que determinadas sequências do gene *cry1* podem não ser detectadas por primers altamente específicos, o que torna necessária a adoção de técnicas moleculares mais sensíveis e robustas, tais como PCR com primers degenerados, PCR multiplex, PCR-RFLP, qPCR, ddPCR, TAIL-PCR e *Southern blotting* (Queiroz *et al.*, 2023; Carvalho *et al.*, 2020; Nogueira; Ibarra, 2010).

Figura 1: Eletroforese em gel utilizando marcador molecular de 50 pb analisando o gene *cry1*. “Caracterização de genes *cry* e *vip* em isolados de *Bacillus thuringiensis* do cerrado mineiro”. Patos de Minas (MG), 2025



* MM: marcador de peso molecular 50pb; “+”: controle positivo, *B. thuringiensis* Kurstaki HD-1; “-”: controle negativo: *B. subtilis* QST 713.

Observando o perfil eletroforético dos isolados para o par de *primers* específicos *cry2*, pode-se observar a presença de banda apenas para o isolado 44, contrastando a frequência do gene *cry2* em populações como a mencionada por Thammasittirong e Attathom (2008) em seu trabalho que identificou a presença de 80,60% do gene em uma população de *B. thuringiensis* na Tailândia.

Figura 2: Eletroforese em gel utilizando marcador molecular de 50 pb analisando o gene *cry2*. “Caracterização de genes *cry* e *vip* em isolados de *Bacillus thuringiensis* do cerrado mineiro”. Patos de Minas (MG), 2025

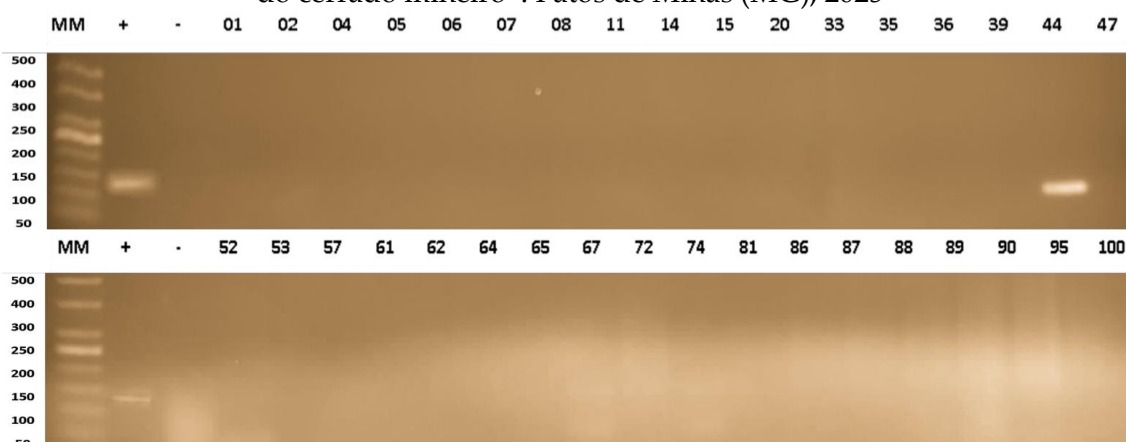


* MM: marcador de peso molecular 50pb; “+”: controle positivo, *B. thuringiensis* Kurstaki HD-1; “-”: controle negativo: *B. subtilis* QST 713.

A ocorrência simultânea dos genes *cry1* e *cry2* é uma tendência em diversas populações de *Bacillus thuringiensis* (Ben-Dov *et al.*, 1997; Hernández-Rodríguez; Ferre, 2009). De forma semelhante, isolados que demonstram a presença de genes *vip3*, também demonstram a presença de genes *cry1* e *cry2* (Hernández-Rodríguez *et al.*, 2009), fato observado neste estudo com o isolado 44.

O indicativo para que proteínas Cry sejam mais presentes nas populações de Bt, se demonstra pelo fato de se apresentarem em formas estáveis sobre inclusões cristalinas, provendo resistência a longo tempo e condições adversas. O cristal protege a proteína de degradação até que seja consumida pelo inseto praga alvo. Contudo, a produção desta proteína é reservada apenas para a fase de esporulação, assim não podendo atuar sobre alvos presentes durante a fase vegetativa (Chen *et al.*, 2022).

Figura 3: Eletroforese em gel utilizando marcador molecular de 50 pb analisando o gene *vip3*. “Caracterização de genes *cry* e *vip* em isolados de *Bacillus thuringiensis* do cerrado mineiro”. Patos de Minas (MG), 2025



* MM: marcador de peso molecular 50pb; “+”: controle positivo, *B. thuringiensis* Kurstaki HD-1; “-”: controle negativo: *B. subtilis* QST 713.

O gene *vip3* tem ocorrência menos documentada dentro das populações de Bt, com alta variabilidade nos trabalhos analisados, variando de 7% no estudo de Zahner e colaboradores (2005) até 90% no trabalho de Sauka e Benintende (2017). Dentro da população avaliada neste trabalho apenas um isolado (isolado 44) apresentou banda referente ao gene *vip3* (Figura 9), desta forma compondo aproximadamente 3% da população amostral. A não presença de genes *vip3* em determinadas populações pode estar relacionado ao fato de a molécula ser produzida durante a multiplicação bacteriana e secretada no meio, porém, possui instabilidade devido à degradação por radiação UV, calor e proteases, tornando assim menos vantajoso que as moléculas Cry no âmbito evolutivo (Sahin *et al.*, 2018).

Amostrados em diversas localidades da Argentina, uma população de 268 isolados foram avaliados quanto a presença de genes *cry1*, *cry2* e *vip3*, estes apresentaram porcentagens de 92,50%, 92,50% e 91,30%, respectivamente (Sauka; Benintende, 2017). Comparando ao trabalho de Berçot *et al.* (2023), cuja população de 257 isolados foram selecionados em diversas localidades do Brasil, foi demonstrado a presença de genes *cry1*, *cry2* e *vip3* na proporção de 93,33%, 73,33% e 80,00%, respectivamente, para a região sul-sudeste do Brasil. Demonstrando assim uma tendência da presença destes genes nas populações de localidades cujo clima se apresenta como tropical, subtropical e temperaturas amenas.

Em contrapartida, levando em conta que os resultados obtidos nesse estudo são relativos ao cerrado mineiro, o trabalho de Berçot na porção sul-sudeste não consegue compreender significativamente o bioma da área de estudo, visto que o cerrado mineiro compreende apenas 22% da área referente e, assim possibilitando a não assertividade da comparação. Desta forma, avaliando isolados do Centro Oeste, região a qual o bioma cerrado compreende a 43% em área, apresentaram redução da presença destes genes (69,57% *cry1*, 65,22% *cry2* e 60,87% *vip3*) (IBGE, 2025; Berçot *et al.*, 2023). Análises realizadas em isolados obtidos no cerrado maranhense, não apresentaram genes *cry1Ab* e *cry2*, porém apresentaram alta frequência na presença de outros genes *cry* e, além disso, alto potencial inseticida em bioensaios com larvas de *Aedes aegypti* (Soares-da-Silva *et al.*, 2017). Estudo por Fané e colaboradores (2017) analisaram 52 isolados no Mali e identificaram apenas 21% dos isolados demonstrando presença de genes *cry1* e *cry2*. Assim vale destacar a variabilidade existente destes genes em diferentes porções geográficas e dentro de populações amostrais.

Tanto os genes *cry* quanto os genes *vip* são transmitidos horizontalmente nas populações de *Bacillus thuringiensis* através de mecanismos como a conjugação, ou seja, transferência de plasmídeos. A presença de gene *vip3*, para que seja transcrito em proteína, necessita da presença de outro gene regulador *vipR*, sequência também encontrada em antes de genes *cry1* e *cry2*, indicando que cepas com a presença de ambos, tem mais possibilidade de produzir proteínas Vip3 (Chen *et al.*, 2022).

Análises genéticas frequentemente demonstram a presença de diversos genes *cry* e *vip*, entretanto estudos proteômicos demonstram que apenas alguns desses genes são de fato expressos como proteínas e alguns em níveis muito baixos (Gomis-Cebolla *et al.*, 2018). Isso se deve ao fato de que a regulação gênica é realizada em múltiplos níveis (transcricional, pós-transcricional e pós traducional) e podem ser influenciados pela fase

de crescimento, proteínas regulatórias, condições ambientais e por isolado (Chen *et al.*, 2022; Sahin *et al.*, 2018; Deng *et al.*, 2014).

A presença de genes *cry1*, *cry2* e *vip3* demonstra a potencial toxicidade a insetos da ordem Lepidóptera (Carvalho *et al.*, 2020; Chakroun *et al.*, 2016). Nesse contexto, o isolado 44 necessita de avaliações adicionais referentes à expressão e funcionalidade dessas proteínas, a fim de determinar sua viabilidade para utilização em bioensaios.

4 CONCLUSÃO

A seleção de isolados com base na morfologia e perfil genético apresentada neste trabalho selecionou o isolado 44 com a presença de genes *cry1*, *cry2* e *vip3*. Contudo, as técnicas utilizadas podem subestimar a detecção de outros isolados capazes de produzir esses genes, bem como de variantes adicionais com propriedades inseticidas.

REFERÊNCIAS

AGROFIT. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Consulta Aberta**. 2025. Disponível em: <https://agrofit.agricultura.gov.br>.

CHAKROUN. M.; BANYULS, N.; BEL, Y.; ESCRICHE, B.; FERRÉ, J. Bacterial Vegetative Insecticidal Proteins (Vip) from Entomopathogenic Bacteria. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, v. 80, n. 2, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1128/mmlbr.00060-15>.

BAVYKIN, S. G.; LYSOV, Y. P.; ZAKHARIEV, V.; KELLY, J. J.; JACKMAN, J.; STAHL, D. A.; CHERNI, A. Use of 16S rRNA, 23S rRNA, and *gyrB* Gene Sequence Analysis To Determine Phylogenetic Relationships of *Bacillus cereus* Group Microorganisms. **Journal of Clinical Microbiology**, v. 42, n. 8, p. 3711-3730, ago. 2004. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1128/jcm.42.8.3711-3730.2004>.

BEN-DOV, E.; ZARITSKY, A.; DAHAN, E.; BARAK, Z.; SINAI, R.; MANASHEROB, R.; KHAMRAEV, A.; TROITSKAYA, E. Extended Screening by PCR for Seven *cry*-Group Genes from Field-Collected Strains of *Bacillus thuringiensis*. **Applied Environmental Microbiology**, v. 63, p. 4883-4890, 1997. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1128/aem.63.12.4883-4890.1997>.

BERÇOT, M. R.; QUEIROZ, P. R. M.; GRYNBERG, P.; TOGAWA, R.; MARTINS, E. S.; ROCHA, G. T.; MONNERAT, R. G. Distribution and Genetic Diversity of Genes from Brazilian *Bacillus thuringiensis* Strains Toxic to Agricultural Insect Pests Revealed by Real-Time PCR. **Microbial Ecology**, v. 86, n. 4, p. 2515-2526, 1 jul. 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s00248-023-02255-1>.

BRAVO, A.; SARABIA, S.; LOPEZ, L.; ABARCA, C.; ORTIZ, A.; ORTIZ, M.; LINA, L.; VILLALOBOS, F.J.; PEÑA, G.; NUÑES-VALDEZ, M.E.; SOBERÓN, M.; QUINTERA, R. Characterization of *cry* Genes in a Mexican *Bacillus thuringiensis* Strain Collection. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 64, n. 12, p. 4965-4972, 1998. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1128/aem.64.12.4965-4972.1998>.

BUSTIN, S. A.; MUELLER, R.; NOLAN, T. Parameters for Successful PCR Primer Design. **Methods In Molecular Biology**, p. 5-22, 2 out. 2019. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4939-9833-3_2.

CARVALHO, K. S.; BARBOSA, T. A. N.; LANA, U. G. P.; VALICENTE, F. H. Selection and Molecular Characterization of *Bacillus thuringiensis* Strain Efficient Against Soybean Looper (*Chrysodeixis includens*) and *Spodoptera* Species. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 64, n. 4, p. 1, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9665-rbent-2020-0080>.

CÉRON, J.; ORTÍZ, A.; QUINTERO, R.; GUERECAL, L.; RAVO, A. Specific PCR Primers Directed to Identify *cryI* and *cryIII* Genes Within a *Bacillus thuringiensis* Strain Collection. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 61, n. 11, p. 3826-3831, 1995. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1128/aem.61.11.3826-3831.1995>.

CHAKROUN, M.; BANYULS, N.; BEL, Y.; ESRICHE, B.; FERRÉ, J. Bacterial Vegetative Insecticidal Proteins (Vip) from Entomopathogenic Bacteria. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, v.80, n. 2, p. 329-350.

CHEN, H.; VERPLAETSE, E.; SLAMTI, L.; LERECLUS, D. Expression of the *Bacillus thuringiensis vip3A* Insecticidal Toxin Gene Is Activated at the Onset of Stationary Phase by VipR, an Autoregulated Transcriptional Factor. **Microbiology Spectrum**, v. 10, i. 4, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1128/spectrum.01205-22>.

DENG, C.; PENG, Q.; SONG, F.; LERECLUS, D. Regulation of *cry* Gene Expression in *Bacillus thuringiensis*. **Toxins**, v. 6, p. 2194-2209, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/toxins6072194>.

FANÉ, R.; KASSOGUÉ, A.; TRAORÉ, D.; DAO, S.; MAIGA, K.; BAH, A.; VALICENTE, F.H.; BABANA, A.H. Molecular Characterization and Insecticidal Activities of Malian Native Crystalliferous *Bacillus thuringiensis*. **African Journal of Biotechnology**, v. 16, n. 17, p. 983-988, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5897/ajb2017.15908>.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Pest and Pesticide Management**. 2024. Disponível em: <https://www.fao.org/pest-and-pesticide-management/about/understanding-the-context/en/>.

FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo. **Registration of Biological Pest Control Products Exceeds that of Agrochemicals in Brazil.** Disponível em: <https://fapesp.br/week/registration-of-biological-pest-control-products-exceeds-that-of-agrochemicals-in-brazil>.

FICHANT, A.; FELTEN, A.; GALLET, A.; FIRMESSE, O.; BONIS, M. Identification of Genetic Markers for the Detection of *Bacillus thuringiensis* Strains of Interest for Food Safety. **Foods**, v. 11, p. 1-15, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/foods11233924>.

GILLIS, A.; MAHILLON, J. Influence of Lysogeny of Tectiviruses GIL01 and GIL16 on *Bacillus thuringiensis* Growth, Biofilm Formation, and Swarming Motility. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 80, n. 24, p. 7620-7630, 15 dez. 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1128/aem.01869-14>.

GOMIS-CEBOLLA, J.; RICCIETTO, A.; FERRÉ, J. A Genomic and Proteomic Approach to Identify and Quantify the Expressed *Bacillus thuringiensis* Proteins in the Supernatant and Parasporal Crystal. **Toxins**, v. 10, n. 5, p. 193, 10 maio 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/toxins10050193>.

GUIDELLI-THULER, A.M.; SENA, J.A.D.; ABREU, I.L.; DAVOLOS, C.C.; ALVES, S.B.; POLANCZYK, R.A.; VALICENTE, F.H.; LEMOS, M.V.F. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 75, n. 4, p. 405-414, out. 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1808-1657v75p4052008>.

GUPTA, M.; KUMAR, H.; KAUR, S. Vegetative Insecticidal Protein (Vip): a potential contender from *Bacillus thuringiensis* for efficient management of various detrimental agricultural pests. **Frontiers In Microbiology**, v. 12, 13 maio 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3389/fmicb.2021.659736>.

HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, C.S.; BOETS, A.; VAN RIE, J.; FERRÉ, J. Screening and Identification of *vip* Genes in *Bacillus thuringiensis* Strains. **Journal of Applied Microbiology**, v.107, p. 219-225, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2672.2009.04199.x>.

HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, C.S.; FERRÉ, J. Ecological Distribution and Characterization of Four Collections of *Bacillus thuringiensis* Strains. **Journal of Basic Microbiology**, v. 49, n. 2, p. 152-157, abr. 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/jobm.200800121>.

ISAAA – International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications. 2025. Disponível em: <https://www.isaaa.org/default.asp>.

IBGE. **Biomass e sistema costeiro-marinho do Brasil**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/biomass/#/home>.

JUÁREZ-PÉREZ, V.M.; FERRANDIS, M.D.; FRUTOS, R. PCR-based Approach for Detection of Novel *Bacillus thuringiensis cry* Genes. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 63, n. 8, p. 2997-3002, 1997. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1128/aem.63.8.2997-3002.1997>.

KUMAR, S.; STECHER, G.; SULESKI, M.; SANDERFORD, M.; SHARMA, S.; TAMURA, K. MEGA12: molecular evolutionary genetic analysis version 12 for adaptive and green computing. **Molecular Biology And Evolution**, v. 41, n. 12, dez. 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1093/molbev/msae263>.

LONE, S. A.; MALIK, A.; PADARIA, J. C. Characterization of Lepidopteran-Specific *cry1* and *cry2* Gene Harboring Native *Bacillus thuringiensis* Isolates Toxic Against *Helicoverpa armigera*. **Biotechnology Reports**, v. 15, p. 27-32, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.btre.2017.05.001>.

MAWCHA, K. T.; MALINGA, L.; MUIR, D.; GE, J.; NDOLO, D. Recent Advances in Biopesticide Research and Development with a Focus on Microbials. **F1000Research**, v. 13, p. 1071, 11 mar. 2025. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.12688/f1000research.154392.5>.

MUKHIJA, B.; KHANNA, V. Isolation, Characterization and Crystal Morphology Study of *Bacillus thuringiensis* Isolates from Soil of Punjab. **Journal of Pure and Applied Microbiology**, v. 12, n. 1, p. 189-193, 30 mar. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.22207/jpam.12.1.24>.

NOGUEIRA, P. A.; IBARRA, J. E. Detection of New *cry* Genes of *Bacillus thuringiensis* by Use of a Novel PCR Primer System. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 76, n. 18, p. 6150-6155, 15 set. 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1128/aem.00797-10>.

PALMA, L.; MUÑOZ, D.; BERRY, C.; MURILLO, J.; CABALLERO, P. *Bacillus thuringiensis* Toxins: an overview of their biocidal activity. **Toxins**, v.6, p.3296-3325, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/toxins6123296>.

PARRA, J. R. P. Biological Control in Brazil: state of art and perspectives. **Scientia Agricola**, v. 80, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-992x-2023-0080>.

QUEIROZ, P.R.; POSSO, M.C.; MARTINS, E.S.; GLYNBERG, P.; TOGAWA, R.; MONNERAT, R.S. Identification of *cry* genes in *Bacillus thuringiensis* by Multiplex Real-Time PCR. **Journal of Microbiological Methods**, v. 205, p. 106665, fev. 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.mimet.2022.106665>.

RAMPERSAD, J.; AMMONS, D. A. *Bacillus thuringiensis* isolation method utilizing a novel strain, low selection and high throughput produced atypical results. **BMC Microbiology**, v. 5, n. 1, p. 1, 24 set. 2005. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1186/1471-2180-5-52>.

SAHIN, B.; GOMIS-CEBOLLA, J.; GUNES, J.; FERRÉ, J. Characterization of *Bacillus thuringiensis* Isolates by Their Insecticidal Activity and Their Production of Cry and Vip3 Proteins. **PLoS ONE**, v. 13, n. 11, p. e0206813, 1 nov. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0206813>.

SANTOS, E. N.; MENEZES, L. P.; DOLABELLA, S. S.; SANTINI, A.; SEVERINO, P.; CAPASSO, R.; ZIELINSKA, A.; SOUTO, E. B.; JAIN, S. *Bacillus thuringiensis*: from biopesticides to anticancer agents. **Biochimie**, v. 192, p. 83-90, jan. 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biochi.2021.10.003>.

SAUKA, D. H.; BENINTENDE, G. B. Diversity and Distribution of Lepidopteran-Specific Toxin Genes in *Bacillus thuringiensis* Strains from Argentina. **Revista Argentina de Microbiologia**, v. 49, n. 3, p. 273-281. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ram.2017.02.003>.

SOARES-DA-SILVA, J.; QUEIRÓS, S.G.; AGUIAR, J.S.; VIANA, J.L.; NETA, M.R.A.V.; SILVA, M.C.; PINHEIRO, V.C.S.; POLANCZYK, R.A.; CARVALHO-ZILSE, G.A.; TADEI, W.P. Molecular Characterization of the Gene Profile of *Bacillus thuringiensis* Berliner Isolated from Brazilian Ecosystems and Showing Pathogenic Activity Against Mosquito Larvae of Medical Importance. **Acta Tropica**, v. 176, p. 197-205, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.actatropica.2017.08.006>.

THAMMASITTIRONG, A.; ATTATHOM, T. PCR-Based Method for the Detection of *cry* genes in Local Isolates of *Bacillus thuringiensis* from Thailand. **Journal of Invertebrate Pathology**, v.98, p. 121-126, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jip.2008.03.001>.

UNIPROT. Universal Protein Resource – Protein Knowledgebase. Disponível em: <https://www.uniprot.org/>.

VALICENTE, F. H.; SILVA, R. B. fAFLP analysis of Brazilian *Bacillus thuringiensis* isolates. **Springerplus**, v. 3, n. 1, 20 maio 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1186/2193-1801-3-256>.

VILAS-BÔAS, G. T.; LEMOS, M. V. F. Diversity of crygenes and genetic characterization of *Bacillus thuringiensis* isolated from Brazil. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 50, n. 8, p. 605-613, 1 ago. 2004. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1139/w04-052>.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. Informal Consultation on the Development of *Bacillus sphaericus* as a Microbial Larvicide. Geneva, UNDP/ World Bank/ **Who Special Programme for Research and Training in tropical Diseases**. 1985.

ZAHNER, V.; CABRAL, D. A.; RÉGUA-MANGIA, A. H.; RABINOVITCH, L.; MOREAU, G.; McINTOSH, D. Distribution of Genes Encoding Putative Virulence Factors and Fragment Length Polymorphisms in the *vrnA* Gene among Brazilian Isolates of *Bacillus cereus* and *Bacillus thuringiensis*. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 71, n. 12, p. 8107-8114, 2005. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1128/aem.71.12.8107-8114.2005>.

Efeito alelopático de aveia (*Avena strigosa*) na germinação da soja (*Glycine max*)

Allelopathic effect of oat (Avena strigosa) on soybean (Glycine max) germination

JOÃO VITOR EBERT HELLWIG

Engenheiro Agrônomo (Sumitomo Chemical)
joaovitorebert@gmail.com

ALINE JAIME LEAL

Docente de Biologia (IFSUL - campus Bagé)
alineleal@ifsul.edu.br

ADRIANE DA FONSECA DUARTE

Docente de Agronomia (UEMS)
adriane.duarte@uems.br

Resumo: As plantas de cobertura são importantes para proteção do solo, controle de plantas daninhas, retenção de umidade; no entanto, a liberação de substâncias com efeito alelopático pode influenciar na germinação e estabelecimento do estande inicial de plantas de interesse agrícola. Objetivou-se avaliar os efeitos alelopáticos de extrato de *Avena strigosa* normal e dessecada sobre sementes de soja. As plantas de aveia foram coletadas e trituradas em água destilada para obtenção dos extratos, nas concentrações de 0%, 25%, 50% e 100%; posteriormente as sementes foram colocadas em caixas gerbox contendo os respectivos tratamentos. O delineamento foi inteiramente casualizado. Avaliou-se a germinação aos 4 e 7 dias, sendo nesta última data avaliado também o comprimento de raiz e parte aérea. Para a germinação, não houve diferença significativa nas avaliações. Para o comprimento de raiz e parte aérea, houve resultados significativos que variaram entre os tratamentos avaliados. Contudo, mais pesquisas são necessárias, para compreender possíveis efeitos alelopáticos da aveia-preta em decomposição, sobretudo identificar a concentração destas substâncias alelopáticas.

Palavras-chave: plantio direto; aveia ucraniana; escopoletina.

Abstract: Cover crops are essential for soil protection, weed control, and moisture retention; however, the release of substances with allelopathic effects may influence the germination and establishment of the initial stand of agriculturally important plants. This study aimed to evaluate the allelopathic effects of extracts from fresh and desiccated *Avena strigosa* on soybean seeds. Oat plants were collected and macerated in distilled water to obtain extracts at concentrations of 0%, 25%, 50%, and 100%; subsequently, the seeds were placed in gerbox containers with the respective treatments. The experiment followed a completely randomized design. Germination was assessed at 4 and 7 days, and at the latter time point root and shoot length were also measured. No significant differences were observed for germination. For root and shoot length, significant differences were found among the

treatments. Nonetheless, further research is needed to understand the potential allelopathic effects of decomposing black oat, particularly to identify the concentration of these allelopathic substances.

Keywords: no-tillage; Ukrainian oat; escopoletin.

1 INTRODUÇÃO

A alelopatia refere-se aos efeitos biológicos negativos ou positivos das plantas de uma espécie vegetal que interferem no desenvolvimento e no crescimento de outras espécies, por meio de substâncias químicas liberadas no ambiente comum. Os compostos alelopáticos são liberados por diferentes métodos, como a exsudação pelas raízes, lixiviação, decomposição da matéria orgânica ou volatilização (Santos *et al.*, 2007).

Em solos com sistema de plantio direto (SPD), durante a decomposição da palhada da aveia-preta, o extrato pode interferir de forma positiva no desenvolvimento de algumas culturas, tanto para a disponibilização de nutrientes, quanto para o controle de plantas daninhas devido ao seu potencial alelopático (Ribeiro; Campos, 2013; Hagemann *et al.*, 2010) e pela redução do espaço físico e recursos para a proliferação das mesmas, o que é essencial para a redução de perdas em função da matocompetição. Além de reduzir a emergência de plantas daninhas, uma boa cobertura de palhada é fundamental para a conservação do solo, havendo a melhora de diversos fatores, como aumento da fauna edáfica e a redução da amplitude de térmica (Santos *et al.*, 2007), infiltração da água e, assim, fornecer maior quantidade e qualidade de matéria orgânica para o solo (Denardin, 2012).

Um fator importante a se considerar nesse sistema é a característica da espécie vegetal utilizada como cobertura, a exemplo da aveia (Denardin, 2012). Alguns trabalhos mencionam o efeito alelopático de alguns genótipos de aveia, devido à presença de exsudatos, como a escopoletina, que, apesar de ser uma substância do metabolismo secundário, pode influenciar no crescimento radicular de outras plantas (Monteiro; Vieira, 2002 *apud* Ducca; Zonetti, 2008). A escopoletina pertence ao grupo das cumarinas sendo liberada pelas raízes ao solo e tem relato de efeito alelopático (Ducca; Zonetti, 2008; Jacobi; Fleck, 2000). De acordo com Ferreira e Áquila (2000), algumas plantas de cobertura não influenciam muito na germinação das plantas cultivadas, porém podem influenciar no desenvolvimento inicial destas.

Embora, segundo Hagemann *et al.* (2010), quanto maior a alelopatia, esta poderá ser diretamente aproveitada no manejo de plantas daninhas, diminuindo o uso de herbicidas sintéticos, no entanto, em SPD, de soja é comum o uso de glifosato para dessecação das plantas de cobertura como a aveia. No entanto, poucos são os estudos sobre o efeito na cultura seguinte, embora os agricultores vêm relatando um possível efeito negativo (Santos *et al.*, 2007).

O glifosato é o ingrediente ativo presente em diversos herbicidas, sendo aplicado em pós-emergência, têm ação sistêmica, sendo muito utilizado para dessecação de plantas de cobertura em sistema de plantio direto (SPD), viabilizando o crescimento de

áreas com SPD, uma vez que são utilizados amplamente no controle de espécies daninhas, nas mais diferentes culturas (Amarante; Santos, 2002).

No entanto, de acordo com Bervaldo *et al.* (2010), o glifosato reduz o comprimento de plântulas, parte aérea e raiz, além de inibir a emissão de raízes secundárias, podendo assim apresentar resultados importantes, como alterações no comportamento de uma plântula considerada normal. Sendo assim, é importante conhecer o efeito da aveia verde e dessecada (mesma condições nutricionais e climáticas) sobre sementes de soja de cultivares que são utilizadas atualmente nas regiões de cultivo, para evitar perdas na fase inicial do cultivo (germinação e estabelecimento das plantas).

Considerando o exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de extratos de aveia-preta (parte aérea e raiz) normal e dessecada com glifosato, em diferentes concentrações, na germinação de sementes, crescimento radicular e aéreo de plântulas de soja.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em dois momentos: inicialmente, no município de Hulha Negra-Rio Grande do Sul, onde foi semeada a *Avena strigosa* no mês de abril em área de plantio de soja, seguindo todas as recomendações técnicas para a cultura. Realizou-se a coleta do material vegetal para realização da primeira fase do experimento em laboratório. Posteriormente, uma pequena parte da área (5 m²) foi submetida a aplicação do herbicida glifosato, no dia 25 de agosto, na dose recomendada para a cultura. Após 15 dias de dessecação, a aveia foi coletada para a condução da segunda fase do experimento em laboratório.

Os experimentos foram realizados no Laboratório Vegetal do Instituto Federal Sul-riograndense (IFSUL), Campus Bagé, no período de agosto a setembro de 2023, em estufa BOD com temperatura de 25°C e fotoperíodo de 12 horas, sendo as unidades experimentais (UEs) caixas de gerbox (11 x 11 cm). O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado (DIC), com esquema fatorial 2 x 4, sendo o fator principal o extrato de aveia (parte aérea e raiz), e o fator secundário as diferentes concentrações (Tabela 1), com seis repetições para cada tratamento, totalizando assim 84 unidades experimentais.

Tabela 1: Tratamentos utilizados nos experimentos para verificação do efeito da aveia sobre a germinação das sementes de soja

| Fases | Tratamentos | Extratos | Concentração |
|----------|-------------|-------------|--------------|
| Primeira | T1 | Testemunha | 0% |
| | T2 | Parte aérea | 25% |
| | T3 | Parte aérea | 50% |
| | T4 | Parte aérea | 100% |
| | T5 | Raiz | 25% |
| | T6 | Raiz | 50% |
| | T7 | Raiz | 100% |

| | | | |
|---------|----|-----------------------|------|
| Segunda | T1 | Testemunha | 0% |
| | T2 | Parte aérea dessecada | 25% |
| | T3 | Parte aérea dessecada | 50% |
| | T4 | Parte aérea dessecada | 100% |
| | T5 | Raiz dessecada | 25% |
| | T6 | Raiz dessecada | 50% |
| | T7 | Raiz dessecada | 100% |

2.1 COLETA DO MATERIAL VEGETAL E PREPARO DO EXTRATO

As plantas de *Avena strigosa* foram coletadas no estágio reprodutivo e transportadas até o laboratório onde foram separadas a parte aérea e das raízes. O material vegetal foi devidamente desinfetado em solução de hipoclorito a 10% por cerca de cinco minutos, posteriormente, lavou-se novamente em água corrente várias vezes e aguardou-se o escoamento do excesso de água por aproximadamente 10 minutos.

Na sequência, o material foi pesado em balança de precisão, sendo colocados 50 gramas de aveia (parte aérea ou raiz) e 500ml de água destilada em liquidificador para trituração, totalizando 10% de material vegetal. Após a trituração, os extratos foram filtrados, com auxílio de papel filtro, obtendo assim o extrato bruto (100%), que foi mantido por quatro horas no escuro para se evitar a fotodegradação dos aleloquímicos (Falcão, 2023). Para a obtenção das diferentes concentrações do extrato (50% e 25%), o extrato bruto foi diluído proporcionalmente na sua concentração desejada em água destilada. Para a testemunha, foi utilizado a concentração de 0%, com a utilização de apenas água destilada. As diluições foram preparadas no momento da instalação do experimento.

2.2 AVALIAÇÃO DO EFEITO DOS EXTRATOS SOBRE AS SEMENTES

As UEs foram previamente higienizadas, identificadas, forradas com papel mataborrão (*germitest*) e umedecidas com 20 mL de extrato nas respectivas diluições de 0%, 25%, 50% e 100%, seguindo o recomendado por Paulino *et al.* (2017), com ajustes para manter o recomendado pelo BRASIL (2009). Na sequência, 25 sementes de soja da cultivar NS 6601 IPRO foram dispostas aleatoriamente, porém manteve certa equidistância entre elas. Após, as UEs foram fechadas com papel filme para evitar a perda de água. As avaliações de germinação foram realizadas com 4 e 7 dias, sendo no último dia avaliado também o comprimento de raiz e parte aérea de plântulas, conforme Marcos Filho *et al.* (2009).

2.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram tabulados e submetidos aos testes de normalidade e homocedasticidade. Uma vez que atenderam os pressupostos estatísticos, procedeu-se a análise de variância e, quando esta foi significativa, as médias foram comparadas pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$). Todas as análises foram realizadas no software R (versão 4.1.1).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com relação ao percentual de germinação aos 4 e 7 dias, independente da parte da planta (raiz ou aérea) e de ser dessecada ou não, diferenças significativas não foram observadas (Tabela 2). Bortolini e Fortes (2005), quando avaliaram o extrato de aveia na germinação de sementes de soja, também não verificaram efeito alelopático sobre a média de germinação das sementes de soja, pois não houve diferenças significativas quando avaliados em diferentes doses de extrato. Assim como Ducca e Zonetti (2008) também não observaram diferenças na germinação de soja quando expostas ao extrato de diferentes partes da planta de aveia-preta.

Tabela 2: Germinação (%) de soja aos 4 e 7 dias após a aplicação dos tratamentos (diferentes concentrações de extrato de aveia) antes da dessecação e após a dessecação

| Tratamento | Não dessecado | | Dessecado | |
|------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | % Germinação | | | |
| | 4º dia ^{ns} | 7º dia ^{ns} | 4º dia ^{ns} | 7º dia ^{ns} |
| T1 | 86,0 | 97,3 | 93,3 | 98,7 |
| T2 | 87,2 | 99,3 | 88,7 | 98,7 |
| T3 | 80,8 | 97,3 | 78,0 | 97,3 |
| T4 | 88,8 | 98,7 | 94,0 | 99,3 |
| T5 | 80,0 | 99,3 | 80,7 | 100,0 |
| T6 | 91,2 | 99,3 | 82,7 | 96,0 |
| T7 | 92,8 | 98,7 | 90,0 | 98,0 |
| CV (%) | 12,8 | 3,1 | 14,9 | 2,7 |

^{ns}Não significativo

O comprimento de raiz (CR) na concentração de 0% não foi significativo pelos tratamentos. O mesmo foi observado no comprimento de raiz nas diferentes concentrações; quando o extrato foi de parte aérea normal (PAN), diferenças significativas não foram observadas. Quando o extrato foi de parte de raiz normal (PRN), diferenças significativas foram observadas, sendo que o maior CR foi com a concentração de 100%, que não diferiu das concentrações de 0 e 25% (valores intermediários), mas diferiu do menor CR, que foi observado na concentração de 50% (Tabela 3). Ferreira e Áquila (2000) também relatam que a aveia-preta não afetou a germinação de culturas como a soja, contudo afetou o crescimento das plantas. Segundo pesquisas, a germinação é menos sensível ao efeito de aleloquímicos (Ferreira; Borghetti, 2004).

Por outro lado, para o extrato de parte aérea dessecada (PAD), houve maior CR na concentração 0% que não diferiu da concentração de 25 %, mas diferiu das concentrações de 50 e 100%, os quais não diferiram entre si (25, 50 e 100%). Resultado semelhante foi observado para o extrato de parte de raiz dessecada (PRD), no entanto a concentração de 100 % não diferiu significativamente da testemunha (concentração de 0%) (Paulino *et al.*, 2017).

Quando comparado os diferentes extratos dentro de cada concentração, em 25% houve maior CR, porém não diferiu de PAD e PRD, mas diferiu de PAN que apresentou menor CR. Na concentração de 50%, PRD apresentou maior CR, mas não diferiu de PRN

e PAD, porém diferiu de PAN que apresentou menor CR, e não diferiu de PRN e PAD. Na concentração de 100%, PRN e PRD apresentaram maior CR, diferindo de PAN e PAD, que apresentaram os menores valores de CR (Tabela 3). Considerando que, em condições de campo, o contato com a semente de soja ocorre mais com as raízes da aveia (PRN e PRD), o fato de dessecar a aveia para semear a soja, nas condições estudadas neste trabalho, não apresentou efeito muito prejudicial, visto que PRN e PRD não diferiram significativamente, independentemente da concentração, mas foram influenciadas negativamente quando expostas ao extrato de PAN.

Tabela 3: Comprimento¹ de raiz (CR) de plântulas de soja submetidas a diferentes doses de extrato de parte aérea normal (PAN), parte de raiz normal (PRN), parte aérea dessecada (PAD) de parte de raiz dessecada (PRD) de aveia em fase reprodutiva

| <i>Avena strigosa</i> | Doses (%) | | | | | | |
|-----------------------|--------------------------|----|--------------|-----|--------------|-----|--------------|
| | Testemunha ^{ns} | | 25* | | 50* | | 100* |
| PAN ^{ns} | 63,19 ± 5,70 | | 58,18 ± 2,70 | B | 49,47 ± 4,90 | B | 48,09 ± 3,10 |
| PRN * | 63,19 ± 5,70 | ab | 74,76 ± 4,70 | abA | 58,36 ± 2,90 | bAB | 80,24 ± 5,90 |
| PAD * | 82,75 ± 5,37 | a | 64,12 ± 2,75 | B | 58,43 ± 4,96 | bAB | 48,55 ± 3,08 |
| PRD * | 82,75 ± 5,37 | a | 69,03 ± 3,50 | B | 66,03 ± 3,65 | bA | 73,29 ± 5,51 |

¹ Em centímetros; *Letras diferentes, minúscula na linha e maiúscula na coluna indicam significância (Duncan p ≤ 0,05); ^{ns}=Não significativo.

Resultado semelhante foi encontrado por Ducca e Zonetti (2008), quando avaliaram o efeito alelopático de extratos aquosos de aveia-preta (parte de folha e raiz, frescos e secos) aos 30 e 60 dias na germinação e desenvolvimento de soja; no entanto, o CR foi bastante inferior ao encontrado neste trabalho. Os autores destacam que a raiz da soja se mostrou mais sensível aos extratos de parte aérea, o que também foi observado no trabalho. Ainda assim, eles observaram que plantas de aveia-preta mais velhas proporcionam um melhor desenvolvimento de plântulas de soja, o que pode ter influenciado o resultado deste trabalho, visto que as plantas estavam em fase reprodutiva (mais de 120 dias) e a concentração de substâncias alelopáticas podem variar com a parte da planta, bem como a fase de desenvolvimento (Ferreira; Áquila, 2000).

Com relação ao comprimento de parte aérea (CPA), o extrato de PAN em diferentes concentrações e a concentração de 0 % nos diferentes extratos não diferiram significativamente. No entanto, semelhante ao observado no CR, o CPA no extrato de PRN (100%) obteve os maiores comprimentos, não diferindo significativamente de 0 e 25%, mas diferindo do CPA em 50% de extrato, com o menor comprimento, que não diferiu dos demais extratos que apresentaram valores intermediários de CPA (Tabela 4). Conforme mencionado anteriormente, a parte inicial de desenvolvimento da soja é mais sensível que a germinação (Ferreira; Áquila, 2000), o que também pode comprometer o estande de plantas, bem com a uniformidade deste.

Com base nos resultados obtidos com extrato de plantas de aveia-preta dessecada, para PAD a concentração de 0% obteve maior CPA, diferindo dos demais, que não diferiram entre si (Tabela 4). No tratamento PRD, embora não diferiram significativamente as concentrações de 0 e 25%, que apresentaram maior CPA, estas diferiram de 50 e 100% que obtiveram menor comprimento, e não diferiram entre si (Tabela 4). A escopoletina pode ter influenciado no resultado prejudicial à medida que se aumentou a concentração, por isso mais trabalhos são necessários para a confirmação dessa hipótese, principalmente com avançar da decomposição da palhada de aveia (neste estudo, foram avaliados 15 após a dessecação). De acordo com Jacobi e Fleck (2000), este resultado pode estar relacionado à produção de escopoletina, visto que a substância pode indicar efeito alelopático em culturas cultivadas, porém, em alguns casos, a estimativa de concentração pode não se mostrar evidente, sendo assim somente em alguns casos é possível estabelecer a associação dos fatores.

Comparando os extratos, na concentração de 25%, o extrato de PRN proporcionou maior CPA, e PAN o menor comprimento, diferiram entre si; as demais tiveram valores intermediários não diferindo entre si (Tabela 4). Quando analisada a concentração de 50%, os tratamentos PRN e PRD apresentaram maior CPA, enquanto PAD apresentou o menor comprimento, mas não diferiu de PAN, que possibilitou um CPA intermediário. Na concentração de 100 %, PRN apresentou maior CPA, PRD apresentou crescimento intermediário, em que PAN e PAD apresentaram os menores comprimentos de parte aérea (Tabela 4).

Tabela 4: Comprimento de parte aérea (CPA) de plântulas de soja submetidas a diferentes doses de extrato de parte aérea normal (PAN), parte de raiz normal (PRN), parte aérea dessecada (PAD) de parte de raiz dessecada (PRD) de aveia em fase reprodutiva

| <i>Avena strigosa</i> | Doses (%) | | | | | | | |
|-----------------------|--------------------------|--------------|--------------|--------------|------|------|-----|--|
| | Testemunha ^{ns} | 25* | 50* | 100* | | | | |
| PAN ^{ns} | 11,36 ± 1,30 | 9,57 ± 1,10 | 8,84 ± 0,50 | 7,70 ± 0,50 | B | BC | C | |
| PRN * | 11,36 ± 1,30 | 14,58 ± 1,70 | 11,06 ± 0,80 | 16,99 ± 1,50 | ab A | b AB | a A | |
| PAD * | 18,24 ± 2,07 | 10,48 ± 1,35 | 5,79 ± 1,13 | 6,17 ± 1,09 | a | b C | b C | |
| PRD * | 18,24 ± 2,07 | 13,68 ± 1,36 | 12,85 ± 1,59 | 12,95 ± 1,67 | a | b AB | b B | |

Em centímetros; *Letras diferentes, minúscula na linha e maiúscula na coluna indicam significância (Duncan $p \leq 0,05$); ^{ns}=Não significativo.

Considerando a realidade do campo, a cultura da aveia-preta manejada de forma correta pode proporcionar maior crescimento de raiz e também da parte aérea, o que pode variar conforme o manejo utilizado na área e o teor de palhada na área, que irão interferir na concentração de substâncias alelopáticas. Estudos que isolem esses fatores, principalmente em relação à concentração de metabólitos com ação alelopática e a influência destes na cultura fazem-se necessários, visto que os agricultores relatam a influência também do glifosato no estabelecimento da cultura (Santos *et al.*, 2007), mas

que possivelmente podem ter relação com a fase de decomposição (liberação de substâncias) da planta de cobertura (aveia-preta) e não com o uso do herbicida.

4 CONCLUSÃO

O uso de extrato de *Avena strigosa* não afetou o processo germinativo das sementes de soja da variedade NS 6601 IPRO. O comprimento de raízes e o de parte aérea variaram conforme a concentração e o tipo de extrato, sendo que houve variações para alguns casos. Mais estudos são necessários para isolar alguns fatores e quantificar possíveis substâncias alelopáticas envolvidas nos resultados.

REFERÊNCIAS

- AMARANTE, O. P. de A.; SANTOS, T. C. R. dos. Glifosato: propriedades, toxicidade, usos e legislação. **Química Nova**, v. 25, n. 4, p. 589-593, 2002.
- BERVALD, C. M. P.; MENDES, C. R.; TIMM, F. C.; MORAES, D. M. de; BARROS, A. C. S. A.; PESKE, S. T. Desempenho fisiológico de sementes de soja de cultivares convencional e transgênica submetidas ao glifosato. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 2, p. 009-018, 2010.
- BORTOLINI, M. F.; FORTES, A. M. T. Efeitos alelopáticos sobre a germinação de sementes de soja (*Glycine max* L.Merrill). **Semina Ciências Agrárias**, v. 26, n. 1, p. 9, 2005.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes (RAS)**. Brasília: Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária, 2009. 395p.
- DENARDIN, J. E. Diretrizes do sistema plantio direto no contexto da agricultura conservacionista. **Comunicado nº 141 Embrapa**, p. 15, 2012.
- DUCCA, F.; ZONETTI, P. C. Efeito alelopático do extrato aquoso de aveia preta (*Avena strigosa* schreb) na germinação e desenvolvimento de soja. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v. 1, n. 1, p. 101-10, 2008.
- FALCÃO, I. A. **Avaliação do potencial de microrganismos eficientes para minimizar o efeito alelopático da Maria-mole (*Senecio brasiliensis*)**. 2023. 38 f. Monografia (Graduação em Engenharia Agrônômica) - IFSUL, Bagé, 2023.
- FERREIRA, A. G.; AQUILA, M. E. A. Alelopatia: uma área emergente da ecofisiologia. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 12, p. 175-204, 2000.
- FERREIRA, A. G.; BORGUETTI, F. **Germinação do básico ao aplicado**. Porto Alegre: Artmed, 2004.

HAGEMANN, T. R.; BENIN, G.; LEMES, C.; MARCHESE, J. A.; MARTIN, T. N.; PAGLIOSA, E. S.; BECHE, E. Potencial alelopático de extratos aquosos foliares de aveia sobre azevém e amendoim-bravo. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 3, p. 509-518, 2010.

JACOBI, U. S.; FLECK, N. G. Avaliação do potencial alelopático de genótipos de aveia no início do ciclo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n.1, p. 10-19, 2000.

MARCOS FILHO, J. M.; KIKUTI, A. L. P.; LIMA, L. B. Métodos para avaliação do vigor de sementes de soja, incluindo a análise computadorizada de imagens. **Revista Brasileira de Sementes**, vol. 31, nº 1, p.102-112, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbs/a/fsy9H4kdVwqJyYwS67cVVtM/?format=pdf&lang=pt>.

PAULINO, R. A.; SCHOENHERR, B.; LUZ, P. DA; LAJÚS, C. R.; KLEIN, C.; JUNGES, M.; TREMEA, G. Potencial alelopático de extratos de ervilhaca (*Vicia villosa*), aveia preta (*Avena strigosa*) e azevém (*Lolium multiflorum*) na germinação de sementes e crescimento inicial de plântulas de milho. **Revista THEMA**, vol. 14, nº 4, p. 35, 2017.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: **A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2018, ISBN 3-900051-07-0.

RIBEIRO, J. A.; CAMPOS, A. D. O efeito alelopático da aveia em relação às plantas daninhas. **Anais do XXXII Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia**. Pelotas, RS. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, 2013, p. 1-5.

SANTOS, J. B.; FERREIRA, E.A.; REIS, M.R.; SILVA, A.A.; FIALHO, C.M.T.; FREITAS, M.A.M. Avaliação de formulações de glyphosate sobre soja Roundup Ready. **Planta Daninha**, v. 25, n.1, p. 165-171, 2007.

Interação entre bactérias fixadoras de nitrogênio e nutrição nitrogenada na cultura da soja

Interaction between nitrogen-fixing bacteria and nitrogen nutrition in soybean cultivation

LETÍCIA CAMPOS DE MELO

Discente de Agronomia (UNIPAM)

leticiacm@unipam.edu.br

EVANDRO BINOTTO FAGAN

Professor orientador (UNIPAM)

evbinotto@unipam.edu.br

Resumo: A soja é a cultura mais produzida no Brasil e é de grande importância agrícola, econômica e alimentícia. Por demandar elevadas quantidades de nitrogênio, o suprimento desse nutriente pode ocorrer via adubação nitrogenada ou por meio da fixação biológica de nitrogênio (FBN). O presente estudo teve como objetivo avaliar a influência de *Bradyrhizobium*, *Azospirillum*, *Methylobacterium* e ureia na fixação biológica de nitrogênio e no metabolismo antioxidante na cultura da soja. O experimento foi instalado na casa de vegetação do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), localizada em Patos de Minas (MG), em 11 de abril de 2024, utilizando quatro tratamentos (T₁: Controle; T₂ Ureia 3 kg.ha⁻¹; T₃: *Methylobacterium symbioticum* 330 mL.ha⁻¹; T₄: *Bradyrhizobium* e *Azospirillum* 2 mL.kg semente⁻¹), com cinco repetições. A cultivar de soja usada foi a M7601 I2X, sendo feitas as aplicações em tratamento de semente (T₄) e no estágio V₄ (T₂ e T₃). As avaliações de FBN foram realizadas 20 dias após a aplicação (DAA), e as análises do metabolismo antioxidante em 5, 11, 14 e 20 DAA, no Núcleo de Pesquisa em Fisiologia e Estresse de Plantas (UNIPAM). Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey (5%). Os resultados demonstraram maior eficiência de FBN no tratamento com *Bradyrhizobium* e *Azospirillum*, refletida em maiores teores de ureídeos, aminoácidos, abundância de ureídeos e nitrogênio derivado da atmosfera, além de redução de nitrato. *Methylobacterium* apresentou desempenho superior ao controle e à ureia, porém inferior às duas bactérias. No metabolismo antioxidante, *Bradyrhizobium* e *Azospirillum* também se destacaram em todas as variáveis, exceto prolina. O *Methylobacterium* elevou o teor de prolina e, aos 20 DAA, aumentou as atividades de POD e CAT, reduzindo H₂O₂ peroxidação lipídica. A ureia foi o tratamento que menos contribuiu para melhoramento do metabolismo antioxidante das plantas, embora tenha superado o controle em prolina, enzimas antioxidantes e diminuição de H₂O₂. Concluiu-se que a combinação *Bradyrhizobium* + *Azospirillum* apresentou maior eficácia nas respostas avaliadas, seguida de *Methylobacterium symbioticum* e, posteriormente, da ureia.

Palavras-chave: catalase; FBN; *Glycine max*; peroxidase; superóxido dismutase.

Abstract: Soybean is the most widely produced crop in Brazil and holds significant agricultural, economic, and nutritional importance. Due to its high nitrogen demand, this nutrient can be supplied either through nitrogen fertilization or biological nitrogen fixation (BNF). This study aimed to evaluate the influence of *Bradyrhizobium*, *Azospirillum*, *Methylobacterium*, and urea on biological nitrogen fixation and antioxidant metabolism in soybean plants. The experiment was

conducted in a greenhouse at the Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), located in Patos de Minas, Minas Gerais State, Brazil, on April 11, 2024. Four treatments were evaluated: T1 (control), T2 (urea, 3 kg ha⁻¹), T3 (*Methylobacterium symbioticum*, 330 mL ha⁻¹), and T4 (*Bradyrhizobium* + *Azospirillum*, 2 mL kg⁻¹ seed), with five replications. The soybean cultivar M7601 I2X was used, with applications performed as seed treatment (T4) and at the V4 growth stage (T2 and T3). BNF evaluations were performed 20 days after application (DAA), while antioxidant metabolism analyses were conducted at 5, 11, 14, and 20 DAA at the Plant Physiology and Stress Research Center (UNIPAM). Data were subjected to analysis of variance, and means were compared using Tukey's test at the 5% significance level. The results demonstrated higher BNF efficiency in the treatment with *Bradyrhizobium* and *Azospirillum*, evidenced by increased ureide content, amino acids, ureide abundance, and nitrogen derived from the atmosphere, as well as reduced nitrate levels. *Methylobacterium* showed better performance than the control and urea treatments but was less effective than the combined inoculation with *Bradyrhizobium* and *Azospirillum*. Regarding antioxidant metabolism, *Bradyrhizobium* and *Azospirillum* also showed superior performance across all evaluated variables, except for proline. *Methylobacterium* increased proline content and, at 20 DAA, enhanced POD and CAT activities while reducing H₂O₂ content and lipid peroxidation. Urea contributed least to improvements in antioxidant metabolism, although it outperformed the control in proline content, antioxidant enzyme activity, and reduction of H₂O₂. It was concluded that the combination of *Bradyrhizobium* and *Azospirillum* was the most effective treatment, followed by *Methylobacterium symbioticum* and, subsequently, urea.

Keywords: catalase; BNF; *Glycine max*; peroxidase; superoxide dismutase.

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merril) é atualmente a cultura mais explorada no Brasil, que se mantém como o maior produtor e exportador mundial dessa leguminosa. Para a safra 2024/25, obteve-se uma produção de 171,47 milhões de toneladas de grãos, valor 13,3% superior ao da safra anterior, em uma área plantada de 47,6 milhões de hectares, representando aumento de 3,2% em relação ao último ano (Conab, 2025). Originária do leste da Ásia, especificamente do nordeste da China, essa oleaginosa da família Fabaceae destaca-se pela ampla importância no mercado agrícola, sendo utilizada tanto na alimentação e nutrição humana e animal quanto na indústria química e na produção de biocombustíveis.

Por apresentar elevado teor proteico nos grãos, a soja demanda altas quantidades de adubação, especialmente de nitrogênio, nutriente essencial ao desenvolvimento, crescimento e reprodução vegetal. Apesar de abundante na Terra, o nitrogênio não se encontra disponível para absorção pelas plantas, visto que sua forma predominante é o gás inerte (N₂). Assim, as plantas podem obtê-lo por três vias principais: absorção de nitrato e amônio; fixação biológica de nitrogênio (FBN); e assimilação de aminoácidos ou moléculas orgânicas presentes no solo (Santos *et al.*, 2021).

Sendo assim, a fixação biológica de nitrogênio ocorre por meio da simbiose entre plantas e bactérias, mas a quantidade desses microrganismos naturalmente presentes no solo não é suficiente para atender à elevada demanda da soja, pois a extração é de 142,9 Kg.ha⁻¹. Dessa forma, torna-se necessária a inoculação, a fim de

ampliar a população bacteriana e garantir maior eficiência no processo simbiótico (Oliveira; Machado, 2021). Nesse contexto, bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, especialmente *Bradyrhizobium japonicum*, são as principais responsáveis pela fixação de nitrogênio na soja. Associada a elas, a coinoculação com *Azospirillum brasilense* tem se mostrado vantajosa, não apenas pela nodulação e transformação do N₂ atmosférico em NH₃, mas também pela síntese de fitohormônios que favorecem o desenvolvimento radicular (Paiva; Lazaretti, 2022).

Entretanto, a filobactéria *Methylobacterium symbioticum* coloniza folhas guiado pelo metanol liberado pelas plantas, aderindo à superfície com pili e formando biofilmes que protegem contra estresses e criam zonas microaeróbias. A bactéria pode entrar pelos estômatos ou tricomas e crescer no apoplasto, utilizando metanol como fonte de energia via enzima XoxF, dependente de lantanídeos — uma estratégia eficiente em ambientes pobres em carbono (Sohrabi *et al.*, 2023; Deng *et al.*, 2018). Algumas linhagens também utilizam luz por fototrofia anoxigênica aeróbia (AAP), otimizando o uso de C₁. Nessas condições, podem fixar nitrogênio (via nitrogenase) quando há energia e pouco oxigênio, com parte da amônia possivelmente sendo transferida à planta. Ensaios mostram que os efeitos agrônômicos são variáveis e contextuais, exigindo validação experimental cuidadosa (Zervas *et al.*, 2019; George *et al.*, 2020; Zhu *et al.*, 2023; Rodrigues *et al.*, 2024; Arrobas *et al.*, 2024).

O nitrogênio (N) desempenha papel fundamental no desenvolvimento e na produtividade da cultura da soja, especialmente nos estádios reprodutivos, quando a demanda pelo nutriente é elevada. Embora a fixação biológica do nitrogênio (FBN), realizada por bactérias do gênero *Bradyrhizobium spp.*, seja a principal fonte de N para a soja, diversos estudos demonstram que, em determinadas condições edafoclimáticas, essa fonte pode ser insuficiente para suprir a exigência da planta, comprometendo o rendimento final. A aplicação foliar de ureia pode ser benéfica quando manejada corretamente, reduzindo perdas por volatilização e favorecendo a absorção pela planta. No entanto, a resposta à adubação nitrogenada suplementar ainda é controversa, pois fatores como clima, tipo de solo e manejo influenciam diretamente a eficácia da prática (Marcon *et al.*, 2017). Diante desse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência de *Bradyrhizobium*, *Azospirillum*, *Methylobacterium* e ureia na fixação biológica de nitrogênio e no metabolismo antioxidante na cultura da soja.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 IMPLANTAÇÃO E CONDUÇÃO

O experimento foi conduzido na casa de vegetação do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), localizada em Patos de Minas (MG), 11 de abril de 2024 e terminou no dia 24 de maio de 2024. Segundo a classificação de Köppen e Geiger (1928), o local apresenta clima tropical de savana (Aw), com pluviometria média anual em torno de 1412 mm, sendo a temperatura média anual igual a 21 °C (Oliveira; Maciel; Queiroz, 2014).

Utilizou-se a cultura de soja [*Glycine max* (L.) Merril.], cultivar M7601 I2X, em delineamento em blocos casualizados (DBC), constituído de quatro tratamentos com

cinco repetições (Tabela 1) totalizando 24 unidades experimentais. Cada unidade experimental foi constituída por um vaso de 11 dm³; depois de preenchido com Latossolo Vermelho, foram semeadas 10 sementes e, aos 15 dias após a semeadura, realizou-se o desbaste, mantendo-se cinco plantas. As aplicações foram efetuadas conforme o posicionamento de cada tratamento: tratamento de sementes (T₄) e aplicação foliar no estágio V₄ (T₂ e T₃), utilizando pulverizador manual e volume de calda de 200 L ha⁻¹.

Tabela 1: Tratamentos utilizados no experimento “Interação entre bactérias fixadoras de nitrogênio e nutrição nitrogenada na cultura da soja”.
Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). Patos de Minas (MG), 2025

| Tratamentos | Descrição | Doses |
|----------------|---------------------------------------------|-------------------------------|
| T ₁ | Controle | - |
| T ₂ | Ureia | 3 kg.ha ⁻¹ |
| T ₃ | <i>Methylobacterium symbioticum</i> | 330 mL.ha ⁻¹ |
| T ₄ | <i>Bradyrhizobium</i> e <i>Azospirillum</i> | 2 mL.kg semente ⁻¹ |

2.2 AVALIAÇÕES

As avaliações foram feitas no dia 24 de maio de 2024 no Núcleo de Pesquisa em Fisiologia e Estresse de Plantas (NUFEP), localizado no Campus I do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). Foram realizadas as análises de fixação biológica de nitrogênio e do metabolismo antioxidante.

2.3 ANÁLISES DE FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO

As avaliações de fixação biológica de nitrogênio foram realizadas aos 20 dias após a aplicação. Foram determinadas as variáveis: N-Ureídeos (Young e Conway, 1942), N-Aminoácidos (Yemm *et al.*, 1955) com adaptação descrita por Herridge (1984), Nitrato [N-NO₃⁻] (Cataldo *et al.*, 1975), Abundância de ureídeos e Nitrogênio derivado da atmosfera, obtidos a partir de fórmulas que utilizam resultados de ureídeos e nitrato.

2.4 METABOLISMO ANTIOXIDANTE

Análises de marcadores bioquímicos foram realizadas nos dias 5, 11, 14 e 20 dias após a aplicação foliares dos produtos. Foram determinadas as variáveis: Proteína Solúvel Total (Bradford, 1976), Peroxidase (Teisseire; Guy, 2000), Superóxido Dismutase (Beauchamp; Fridovich, 1971 *apud* Bor; Ozdemir; Turkan, 2003), Catalase (Peixoto *et al.*, 1999), Peroxidação lipídica (Heath; Packer, 1968), Peróxido de hidrogênio (Alexieva *et al.*, 2001) e Prolina (Bates *et al.*, 1973).

2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, e as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de significância, pelo programa do SISVAR.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

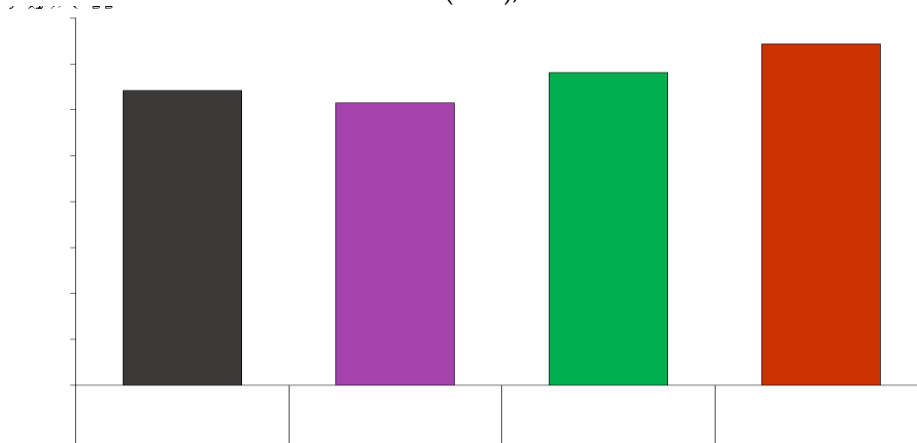
3.1 FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO

3.1.1 Ureídeos

A análise de ureídeos revelou diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos (Figura 1). O tratamento com coinoculação de *Bradyrhizobium* e *Azospirillum* apresentou incremento de 15,8% em comparação ao controle, evidenciando maior eficiência na assimilação e transporte do nitrogênio fixado. A aplicação foliar de *Methylobacterium symbioticum* também promoveu aumento, embora mais discreto (6%), enquanto o tratamento com ureia não diferiu estatisticamente do controle.

Os ureídeos são formados a partir da amônia e servem como transporte e armazenamento de nitrogênio que foi fixado pelas bactérias nas raízes das plantas. Esses resultados corroboram achados de Omar (2023), que reportou maiores concentrações de ureídeos em feijão-caupi submetido à aplicação de *Azospirillum* em relação ao uso exclusivo de *Bradyrhizobium*, destacando a relevância das bactérias promotoras de crescimento no metabolismo do nitrogênio.

Figura 1: Ureídeos no ensaio “Interação entre bactérias fixadoras de nitrogênio e nutrição nitrogenada na cultura da soja”. Núcleo de Pesquisa em Fisiologia e Estresse de Plantas (NUFEP). Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). Patos de Minas (MG), 2025



*Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferenciam entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

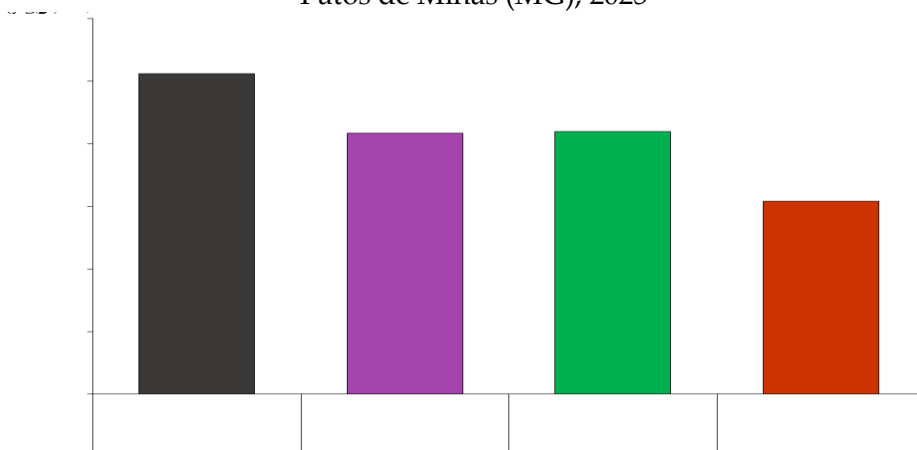
3.1.2 Nitrato

Na Figura 2, observa-se que os resultados apresentaram diferença estatística significativa entre os tratamentos. O controle destacou-se por apresentar a maior atividade de nitrato redutase, enquanto os demais tratamentos registraram uma redução média de 25,5%.

A fixação biológica de nitrogênio é o processo pelo qual o nitrogênio atmosférico é convertido em formas utilizáveis pelas plantas, como amônia (NH_3) e nitrato (NO_3^-), por meio da ação de microrganismos. O nitrato é uma das formas de nitrogênio absorvido pelas plantas, junto com o amônio (NH_4^+). Após ser absorvido pelas raízes, o nitrato pode ser reduzido a nitrito (NO_2^-) e depois a amônia (NH_3) dentro da planta, principalmente nas folhas. A amônia, então, entra na síntese de aminoácidos como a glutamina e glutamato, usados para formar proteínas e enzimas (Embrapa, 2022).

Figura 2: Nitrato no ensaio “Interação entre bactérias fixadoras de nitrogênio e nutrição nitrogenada na cultura da soja”. Núcleo de Pesquisa em Fisiologia e Estresse de Plantas (NUFEP). Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM).

Patos de Minas (MG), 2025



*Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferenciam entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

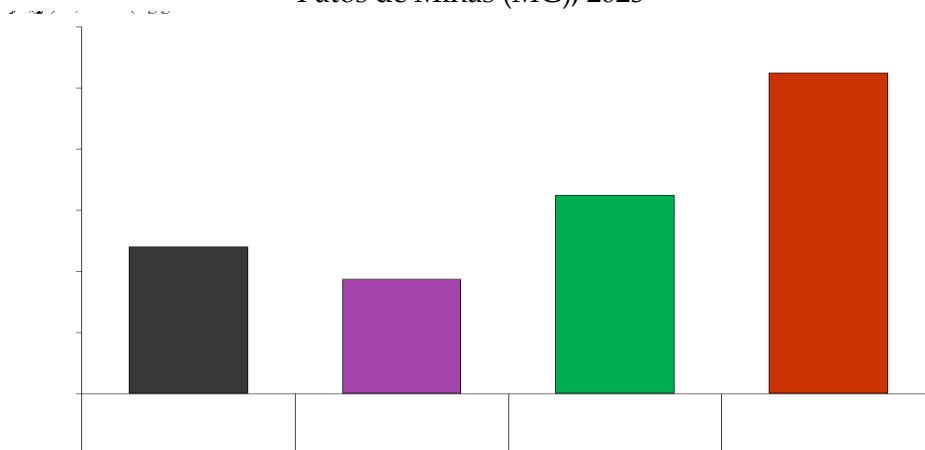
3.1.3 Aminoácidos

Os resultados apresentados na Figura 3 evidenciam incremento expressivo na síntese de aminoácidos totais nos tratamentos com microrganismos. A inoculação com *Bradyrhizobium* e a coinoculação com *Azospirillum* resultaram em aumento de 118,9% em relação ao controle, seguido pelo *M. symbioticum* (+35,5%). Em contraste, a aplicação de ureia reduziu em 22% a concentração de aminoácidos quando comparada ao controle.

Na fixação biológica de nitrogênio, o nitrogênio atmosférico (N_2) é convertido em amônia (NH_3) pela enzima nitrogenase, presente em bactérias fixadoras de nitrogênio. Essa amônia é então incorporada em aminoácidos. Esses resultados indicam que a presença das bactérias favoreceu a incorporação do nitrogênio fixado em compostos orgânicos, como glutamina e asparagina, principais moléculas de transporte de N nas plantas (Fagan *et al.*, 2022). A redução promovida pela ureia pode estar

associada ao desbalanço metabólico provocado pela alta disponibilidade imediata de N mineral, que não necessariamente se converte em formas assimiláveis de aminoácidos.

Figura 3: Aminoácido no ensaio “Interação entre bactérias fixadoras de nitrogênio e nutrição nitrogenada na cultura da soja”. Núcleo de Pesquisa em Fisiologia e Estresse de Plantas (NUFEP). Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). Patos de Minas (MG), 2025



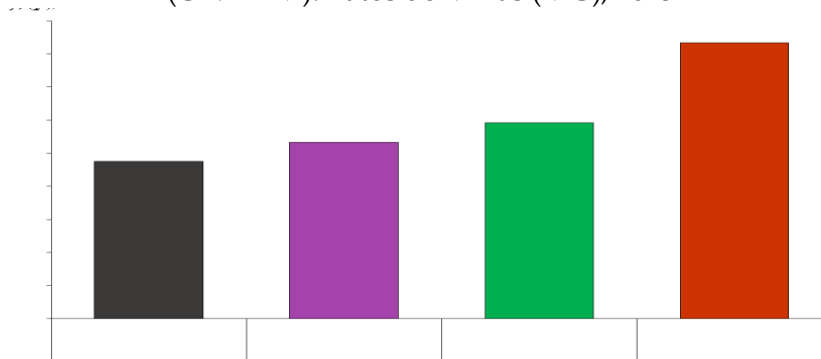
*Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferenciam entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

3.1.4 Abundância de ureídeos

A abundância relativa de ureídeos (RUR%) também apresentou diferenças relevantes (Figura 4). O tratamento com *Bradyrhizobium* e *Azospirillum* elevou em 75,7% os teores em comparação ao controle, enquanto ureia e *M. symbioticum* não diferiram estatisticamente, embora tenham mostrado incremento médio de 18,6%.

A RUR é a abundância de nitrogênio que está presente nas plantas em porcentagem, em relação às demais formas de nitrogênio que são transportados e armazenados. Essa variável indica não apenas o nitrogênio transportado, mas também a proporção de N assimilado e redistribuído pela planta, reforçando a importância da inoculação para aumentar a eficiência de uso desse nutriente (Delbon, 2023).

Figura 4: Abundância de ureídeos no ensaio “Interação entre bactérias fixadoras de nitrogênio e nutrição nitrogenada na cultura da soja”. Núcleo de Pesquisa em Fisiologia e Estresse de Plantas (NUFEP). Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). Patos de Minas (MG), 2025



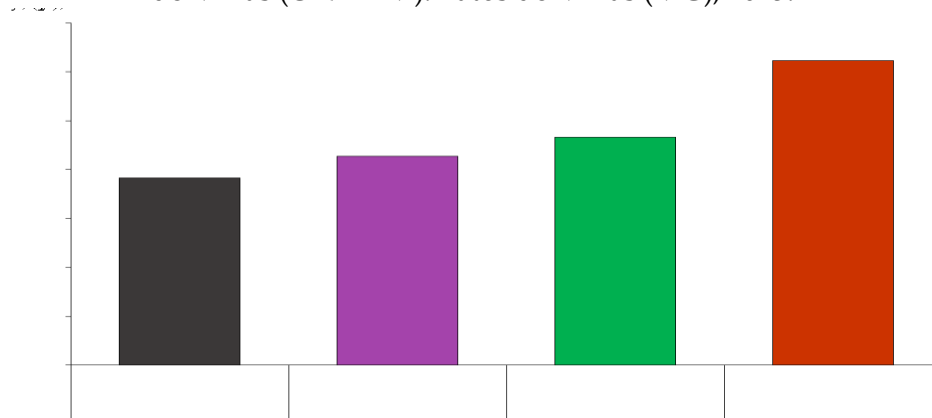
*Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferenciam entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

3.1.5 Nitrogênio derivado da atmosfera

A análise do nitrogênio derivado da atmosfera (Ndfa%) evidenciou incremento de 62,7% no tratamento com *Bradyrhizobium* e *Azospirillum* (Figura 5), confirmando a relevância da fixação biológica como principal fonte de N para a cultura. Já ureia e *M. symbioticum* não diferiram estatisticamente do controle, ainda que tenham proporcionado uma tendência de acréscimo médio de 16,8%. Esse resultado demonstra que, embora fertilizantes e outros microrganismos possam contribuir, a simbiose clássica entre rizóbios e leguminosas permanece insubstituível como fonte primária de N para a soja, especialmente em condições de baixo aporte de nitrogênio mineral (Delbon, 2023).

A análise de Ndfa é essencial para quantificar a fração do nitrogênio que efetivamente provém da FBN e não da solução do solo. Assim, os resultados confirmam que a coinoculação potencializa a contribuição para a FBN, reduzindo a dependência de fontes externas de N. Esse efeito é consistente com estudos que apontam a coinoculação como uma estratégia eficiente para maximizar a fixação e o aproveitamento do N atmosférico em leguminosas (Paiva; Lazaretti, 2022).

Figura 5: Nitrogênio derivado da atmosfera no ensaio intitulado: “Interação entre bactérias fixadoras de nitrogênio e nutrição nitrogenada na cultura da soja”. Núcleo de Pesquisa em Fisiologia e Estresse de Plantas (NUFEP). Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). Patos de Minas (MG), 2025.



*Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferenciam entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

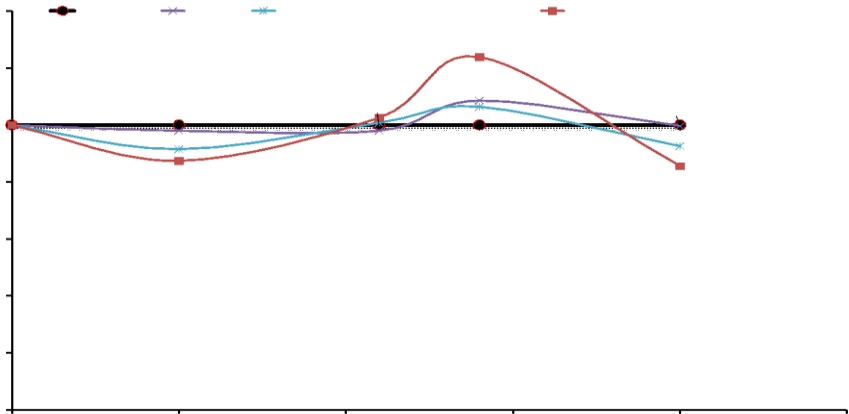
3.2 METABOLISMO ANTIOXIDANTE

3.2.1 Proteína solúvel total

Na Figura 6 e Tabela 2, observa-se que aos 5, 11 e 20 dias após a aplicação (DAA) não houve diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, mantendo-se valores próximos ao controle. Entretanto, aos 14 DAA, o tratamento com aplicação em sulco de semeadura contendo *Bradyrhizobium* e *Azospirillum* apresentou acréscimo de 23% em proteína solúvel, seguido pelos demais tratamentos, com aumento médio de 7%.

Esse resultado sugere que a coinoculação estimulou o metabolismo proteico da soja em um momento crítico de desenvolvimento, possivelmente devido à maior disponibilidade de nitrogênio assimilável, o que reflete em incremento na síntese de proteínas estruturais e enzimáticas. Estudos anteriores relatam que bactérias fixadoras de N não afetam diretamente o teor total de proteínas em todas as fases, mas podem promover aumento pontual, especialmente quando o aporte de fertilizantes é limitado (Omar, 2023).

Figura 6: Teores de Proteína Solúvel Total (% em relação ao controle) em plantas de soja no ensaio “Interação entre bactérias fixadoras de nitrogênio e nutrição nitrogenada na cultura da soja”. Núcleo de Pesquisa em Fisiologia e Estresse de Plantas (NUFEP). Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). Patos de Minas (MG), 2025



*Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferenciam entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.
*ns: não significativo.

Tabela 2 - Teores de Proteína Solúvel Total (% em relação ao controle) em plantas de soja no ensaio “Interação entre bactérias fixadoras de nitrogênio e nutrição nitrogenada na cultura da soja”. Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). Patos de Minas (MG), 2025

| Tratamentos | Descrição | Proteína solúvel total | | | |
|----------------|-------------------------------------|------------------------|-----------|----------|------------|
| | | 5 | 11 | 14 | 20 |
| | | Dias após a aplicação | | | |
| T ₁ | Controle | 9,926 ns* | 9,824 ns* | 8,571 b* | 12,362 ns* |
| T ₂ | Ureia | 9,723 | 9,619 | 9,302 ab | 12,314 |
| T ₃ | <i>Methylobacterium symbioticum</i> | 9,088 | 9,891 | 9,119 ab | 11,436 |
| T ₄ | <i>Bradyrhizobium Azospirillum</i> | e 8,678 | 10,073 | 10,618 a | 10,577 |
| | CV (%): | 16.57 | 10.33 | 11.37 | 11.14 |

*Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferenciam entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.
*ns: não significativo.

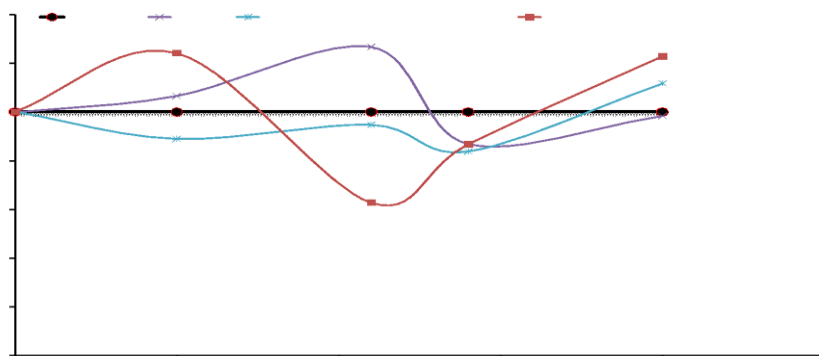
3.2.2 Peroxidase (POD)

A atividade da enzima peroxidase (Figura 7; Tabela 3) apresentou variação ao longo do ciclo. Aos 5 DAA, o tratamento com *Bradyrhizobium* e *Azospirillum* obteve incremento de 24% em relação ao controle, seguido pela ureia (+6%). Aos 11 DAA, entretanto, a ureia se destacou, com aumento de 26%, enquanto os demais tratamentos reduziram a atividade enzimática. Aos 14 DAA não houve diferenças estatísticas, mas verificou-se tendência de redução em todos os tratamentos. Já aos 20 DAA, os destaques

foram *Bradyrhizobium* + *Azospirillum* (+22%) e *M. symbioticum* (+11%), enquanto a ureia reduziu os níveis de POD em relação ao controle.

As peroxidases atuam na decomposição do H_2O_2 em água e oxigênio, desempenhando papel central no sistema antioxidante vegetal (Fagan *et al.*, 2025). A resposta variável sugere que a coinoculação proporciona efeito mais consistente ao longo do tempo, enquanto a ureia provoca respostas pontuais. Resultados semelhantes foram relatados por Barros *et al.* (2022), que observaram aumento da atividade de POD em soja tratada com *Bradyrhizobium japonicum* no estágio V₃ e V₆. Contudo, resultados obtidos por Nonato 2016 sobre tratamento de sementes de soja com *Azospirillum* reduziu a atividade da enzima peroxidase em relação ao controle.

Figura 7: Atividade da enzima peroxidase (% em relação ao controle) em plantas de soja no ensaio “Interação entre bactérias fixadoras de nitrogênio e nutrição nitrogenada na cultura da soja”. Núcleo de Pesquisa em Fisiologia e Estresse de Plantas (NUFEP). Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). Patos de Minas (MG), 2025



*Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferenciam entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

*ns: não significativo.

Tabela 3: Atividade da enzima peroxidase (% em relação ao controle) em plantas de soja no ensaio “Interação entre bactérias fixadoras de nitrogênio e nutrição nitrogenada na cultura da soja”. Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM).

Patos de Minas (MG), 2025

| Fatores de Nitria (MS), 2020 | | | | | |
|------------------------------|-------------------------------------|------------|-----------|-----------|----------|
| Tratamentos | Descrição | Peroxidase | | | |
| | | 5 | 11 | 14 | 20 |
| Dias após a aplicação | | | | | |
| T ₁ | Controle | 2,723 b* | 1,140 ab* | 2,179 ns* | 0,735 b* |
| T ₂ | Ureia | 2,900 ab | 1,443 a | 1,889 | 0,723 b |
| T ₃ | <i>Methylobacterium symbioticum</i> | 2,420 b | 1,080 b | 1,824 | 0,822 ab |
| T ₄ | <i>Bradyrhizobium Azospirillum</i> | e 3,383 a | 0,716 c | 1,890 | 0,903 a |
| CV (%): | | 12.34 | 17.29 | 11.48 | 8.85 |

*Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferenciam entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

*ns: não significativo.

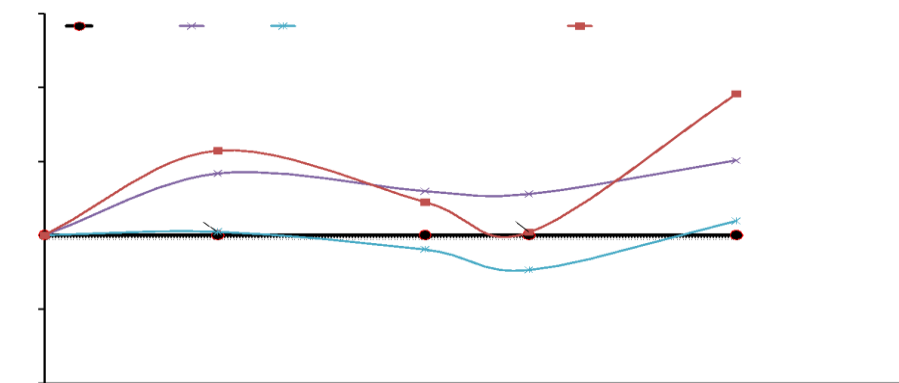
3.2.3 Superóxido dismutase (SOD)

A Figura 8 e a Tabela 4 mostram que, aos 5 DAA, o tratamento com *Bradyrhizobium* + *Azospirillum* apresentou maior atividade de SOD (+57% em relação ao controle), seguido pela ureia (+41%). O *M. symbioticum* não diferiu do controle nesse estágio inicial. Aos 11 DAA, a ureia (+29%) e a coinoculação (+22%) mantiveram desempenho superior. Aos 14 DAA, a ureia novamente se destacou (+27%), enquanto os demais não diferiram. Finalmente, aos 20 DAA, o melhor resultado foi observado no tratamento com *Bradyrhizobium* + *Azospirillum*, com expressivo aumento de 95% em relação ao controle, seguido pela ureia (+50%).

A SOD é a primeira linha de defesa antioxidante, promovendo a dismutação do radical superóxido ($O_2^{\bullet-}$) em H_2O_2 (Fagan *et al.*, 2025). O comportamento observado indica que a coinoculação garante proteção mais robusta em longo prazo, enquanto a ureia gera respostas mais transitórias. Esses resultados corroboram os de Barros *et al.* (2022), que registraram maior atividade da SOD em soja coinoculada com *B. japonicum*. Porém, no trabalho de Nonato (2016), foi utilizado *Azospirillum* e aos 39 dias após o plantio de soja foi reduzida a enzima SOD em relação ao controle.

Figura 8: Atividade da enzima Superóxido Dismutase (% em relação ao controle) em plantas de soja no ensaio “Interação entre bactérias fixadoras de nitrogênio e nutrição nitrogenada na cultura da soja”. Núcleo de Pesquisa em Fisiologia e Estresse de Plantas (NUFEP). Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM).

Patos de Minas (MG), 2025



*Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferenciam entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 4: Atividade da enzima Superóxido Dismutase (% em relação ao controle) em plantas de soja no ensaio “Interação entre bactérias fixadoras de nitrogênio e nutrição nitrogenada na cultura da soja”. Núcleo de Pesquisa em Fisiologia e Estresse de Plantas (NUFEP). Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM).

Patos de Minas (MG), 2025

| Tratamentos | Descrição | Superóxido Dismutase | | | |
|----------------|-------------------------------------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|
| | | 5 | 11 | 14 | 20 |
| | | Dias após a aplicação | | | |
| T ₁ | Controle | 61,655 c* | 58,970 b* | 64,347 b* | 39,963 c* |
| T ₂ | Ureia | 87,338 b | 76,503 a | 82,154 a | 60,141 b |
| T ₃ | <i>Methylobacterium symbioticum</i> | 63,124 c | 53,355 b | 49,263 c | 43,817 c |
| T ₄ | <i>Bradyrhizobium Azospirillum</i> | e 96,953 a | 72,248 a | 65,667 b | 78,205 a |
| | CV (%): | 7.32 | 8.90 | 9.52 | 10.85 |

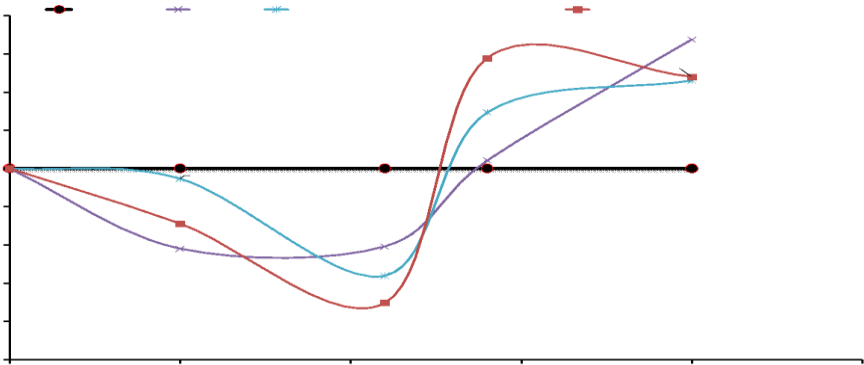
*Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferenciam entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

3.2.4 Catalase (CAT)

A atividade da catalase (Figura 9; Tabela 5) apresentou respostas distintas ao longo do tempo. Aos 5 e 11 DAA, o controle mostrou os maiores valores, enquanto os demais tratamentos apresentaram reduções médias de 46% e 56%, respectivamente. Entretanto, aos 14 DAA, a coinoculação de *Bradyrhizobium* + *Azospirillum* promoveu aumento expressivo da CAT (+57%), seguida por *M. symbioticum* (+29%). Aos 20 DAA, todos os tratamentos apresentaram incremento em relação ao controle, destacando-se a ureia (+67%), seguida pela coinoculação e *M. symbioticum* (média de +46,5%).

As catalases estão entre as enzimas antioxidantes mais eficientes, degradando o H₂O₂ em curto intervalo de tempo (Fagan *et al.*, 2025). A variação observada sugere que o controle inicial pode estar associado à ausência de estresse oxidativo induzido, mas, em estágios posteriores, a ação dos microrganismos inoculados aumentou a capacidade de resposta antioxidante. Barros *et al.* (2022) relataram que a aplicação de *Bradyrhizobium japonicum* nos estágios V₃ e V₆ não apresentaram diferença, sendo ainda que foi menor que ao controle.

Figura 9: Atividade da enzima Catalase (% em relação ao controle) em plantas de soja no ensaio “Interação entre bactérias fixadoras de nitrogênio e nutrição nitrogenada na cultura da soja”. Núcleo de Pesquisa em Fisiologia e Estresse de Plantas (NUFEP). Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). Patos de Minas (MG), 2025



*Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferenciam entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 5 - Atividade da enzima Catalase (% em relação ao controle) em plantas de soja no ensaio “Interação entre bactérias fixadoras de nitrogênio e nutrição nitrogenada na cultura da soja”. Núcleo de Pesquisa em Fisiologia e Estresse de Plantas (NUFEP). Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). Patos de Minas (MG), 2025

| Tratamentos | Descrição | Catalase | | | |
|----------------|-------------------------------------|-----------------------|------------|------------|-----------|
| | | 5 | 11 | 14 | 20 |
| | | Dias após a aplicação | | | |
| T ₁ | Controle | 155,260 a* | 165,018 a* | 108,551 c* | 59,463 c* |
| T ₂ | Ureia | 90,022 b | 97,422 b | 113,185 c | 99,577 a |
| T ₃ | <i>Methylobacterium symbioticum</i> | 146,886 a | 72,350 c | 140,472 b | 86,846 b |
| T ₄ | <i>Bradyrhizobium Azospirillum</i> | e 110,352 b | 48,960 d | 171,150 a | 87,928 b |
| | CV (%): | 13.80 | 12.41 | 11.08 | 7.37 |

*Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferenciam entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

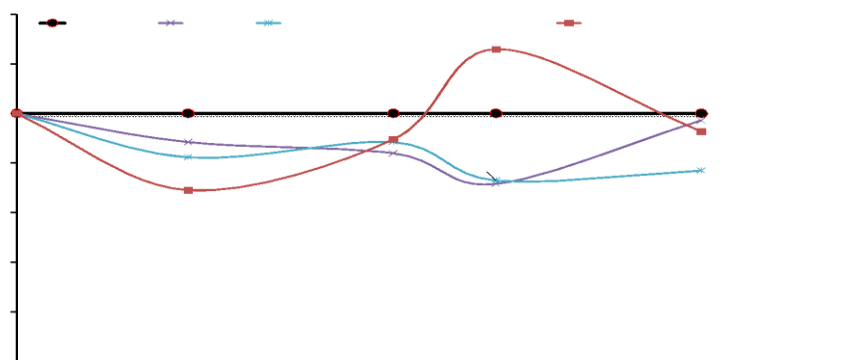
3.2.4 Peróxido de hidrogênio (H₂O₂)

Os teores de H₂O₂ (Figura 10; Tabela 6) também variaram conforme o tempo. Aos 5 DAA, o tratamento com *Bradyrhizobium* + *Azospirillum* apresentou a maior redução (-32% em relação ao controle), seguido por ureia e *M. symbioticum* (-16%). Aos 11 DAA, não houve diferença significativa, mas todos os tratamentos reduziram em média 13%. Aos 14 DAA, a ureia (-29%) e o *M. symbioticum* (-28%) apresentaram os menores teores, enquanto a coinoculação mostrou tendência de aumento (+25%). Aos 20 DAA, apenas *M. symbioticum* diferiu estatisticamente, com redução de 23%. Esses resultados indicam que a coinoculação é mais eficiente em estágios iniciais, enquanto *M. symbioticum* exerce

efeito tardio, o que está de acordo com estudos que relatam início de ação fisiológica dessa bactéria cerca de 15 a 20 dias após aplicação (Vera *et al.*, 2023).

O peróxido de hidrogênio (H₂O₂) é uma forma de ERO que, ao atravessar membranas celulares, forma radicais hidroxila (OH[•]), que é o oxidante mais reativo da ERRO (Fagan *et al.*, 2025). O experimento de Barros *et al.* (2022) obteve resultados semelhantes ao aplicar *Bradyrhizobium japonicum* na análise feita no estágio V₃.

Figura 10: Teor de Peróxido de Hidrogênio (% em relação ao controle) em plantas de soja no ensaio “Interação entre bactérias fixadoras de nitrogênio e nutrição nitrogenada na cultura da soja”. Núcleo de Pesquisa em Fisiologia e Estresse de Plantas (NUFEP). Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). Patos de Minas (MG), 2025



*Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferenciam entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

*ns: não significativo.

Tabela 6: Teor de Peróxido de Hidrogênio (% em relação ao controle) em plantas de soja no ensaio “Interação entre bactérias fixadoras de nitrogênio e nutrição nitrogenada na cultura da soja”. Núcleo de Pesquisa em Fisiologia e Estresse de Plantas (NUFEP). Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). Patos de Minas (MG), 2025.

| | | Peróxido de Hidrogênio | | | |
|----------------|-------------------------------------|------------------------|---------------|-----------|-----------|
| Tratamentos | Descrição | 5 | 11 | 14 | 20 |
| | | Dias após a aplicação | | | |
| T ₁ | Controle | 13,801 b* | 18,263 ns* | 11,304 c* | 15,505 b* |
| T ₂ | Ureia | 12,206 ab | 15,330 | 8,102 a | 15,067 b |
| T ₃ | <i>Methylobacterium symbioticum</i> | 11,362 ab | 16,164 | 8,230 b | 11,941 a |
| T ₄ | <i>Bradyrhizobium Azospirillum</i> | e 9,519 a | 16,358 | 14,228 c | 14,368 b |
| CV (%): | | 16.97 | 10.97 | 10.80 | 7.32 |

*Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferenciam entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

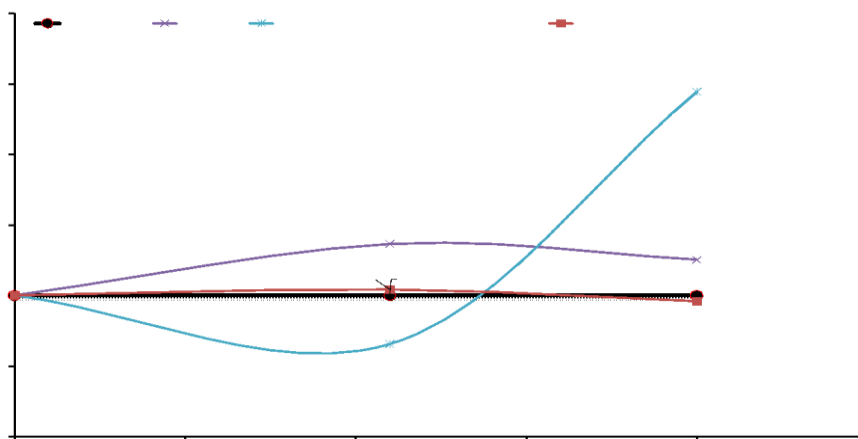
*ns: não significativo.

3.2.5 Prolina

Na Figura 11 e Tabela 7, verifica-se que, aos 11 DAA, o tratamento com ureia apresentou maior acúmulo de prolina (+36%), enquanto a coinoculação não diferiu do controle. Já o *M. symbioticum* reduziu em 45% os níveis de prolina nesse período. Entretanto, aos 20 DAA, esse último se destacou com incremento de 144% em relação ao controle. A prolina atua como osmoprotetor, antioxidante não enzimático e sinalizador metabólico, estabilizando membranas e enzimas sob estresse oxidativo (Fagan *et al.*, 2025). Os resultados sugerem que a ureia promoveu efeito imediato, enquanto *M. symbioticum* exerceu ação mais prolongada, refletindo seu modo de colonização e adaptação.

De acordo com Barros *et al.* (2022), o ensaio realizado com *Bradyrhizobium japonicum* apresentou maiores teores de prolina do que o controle, na análise realizada no estágio V₃. Os autores ressaltaram também que os resultados de todas as coletas realizadas indicam que a aplicação de *Azospirillum brasilense* em doses altas coinoculado com *Bradyrhizobium japonicum* poderia melhorar a proteção contra estresses.

Figura 11 - Teor de Prolina (% em relação ao controle) em plantas de soja no ensaio “Interação entre bactérias fixadoras de nitrogênio e nutrição nitrogenada na cultura da soja”. Núcleo de Pesquisa em Fisiologia e Estresse de Plantas (NUFEP). Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). Patos de Minas (MG), 2025



*Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferenciam entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 7: Teor de Prolina (% em relação ao controle) em plantas de soja no ensaio “Interação entre bactérias fixadoras de nitrogênio e nutrição nitrogenada na cultura da soja”. Núcleo de Pesquisa em Fisiologia e Estresse de Plantas (NUFEP). Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). Patos de Minas (MG), 2025

| Tratamentos | Descrição | Prolina | |
|----------------|---------------------------------------------|-----------------------|---------|
| | | 11 | 20 |
| | | Dias após a aplicação | |
| T ₁ | Controle | 1,06 b* | 0,33 b* |
| T ₂ | Ureia | 1,44 a | 0,41 b |
| T ₃ | <i>Methylobacterium symbioticum</i> | 0,69 c | 0,79 a |
| T ₄ | <i>Bradyrhizobium</i> e <i>Azospirillum</i> | 1,10 b | 0,31 b |
| | CV (%): | 18.85 | 24.11 |

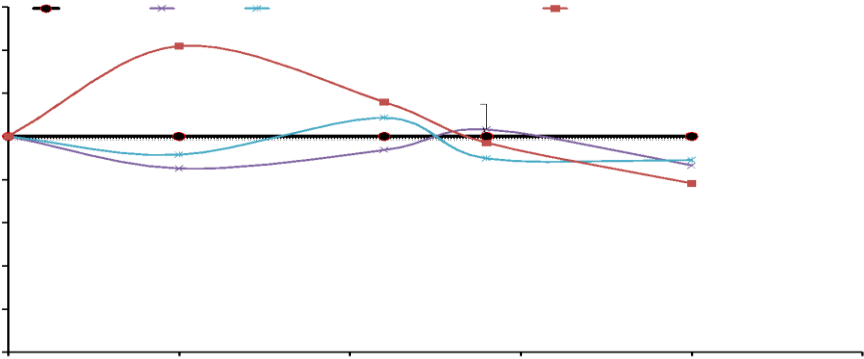
*Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferenciam entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

3.2.6. Peroxidação lipídica (PL)

A peroxidação lipídica (Figura 12; Tabela 8) apresentou redução significativa nos tratamentos em estágios finais. Aos 5 DAA, a coinoculação exibiu valores elevados de PL, indicando maior degradação de membranas nesse momento inicial. Aos 11 DAA, não houve diferenças significativas, embora a ureia tenha apresentado menor degradação em comparação ao controle. Aos 14 DAA, *M. symbioticum* foi o destaque, reduzindo em 11% os valores. Finalmente, aos 20 DAA, todos os tratamentos reduziram a peroxidação, sendo mais expressivos *Bradyrhizobium* + *Azospirillum* (-22%), ureia (-14%) e *M. symbioticum* (-12%).

A PL está associada ao estresse oxidativo e à degradação de membranas celulares. A redução observada em estágios finais indica que tanto os microrganismos inoculados quanto a ureia contribuíram para a mitigação do estresse oxidativo, melhorando a estabilidade das membranas. Esses resultados divergem parcialmente de Barros *et al.* (2022), que não observaram diferenças significativas na PL com *Bradyrhizobium japonicum* e *Azospirillum* no estágio V₃, sugerindo que a resposta pode variar conforme o estágio fenológico da soja. Os resultados são semelhantes aos de Nonato (2016), pois ocorreu redução da PL ao aplicar *Azospirillum* em tratamento de semente em soja.

Figura 12: Teor de Peroxidação Lipídica (% em relação ao controle) em plantas de soja no ensaio “Interação entre bactérias fixadoras de nitrogênio e nutrição nitrogenada na cultura da soja”. Núcleo de Pesquisa em Fisiologia e Estresse de Plantas (NUFEP). Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). Patos de Minas (MG), 2025



*Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferenciam entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.
*ns: não significativo.

Tabela 8: Teor de Peroxidação Lipídica (% em relação ao controle) em plantas de soja no ensaio “Interação entre bactérias fixadoras de nitrogênio e nutrição nitrogenada na cultura da soja”. Núcleo de Pesquisa em Fisiologia e Estresse de Plantas (NUFEP). Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). Patos de Minas, MG. 2025.

| Tratamento | Descrição | Peroxidação lipídica | | | |
|----------------|-------------------------------------|-----------------------|------------|------------|-----------|
| | | 5 | 11 | 14 | 20 |
| | | Dias após a aplicação | | | |
| T ₁ | Controle | 48,511 a* | 62,161 ns* | 33,617 ab* | 75,250 b* |
| T ₂ | Ureia | 41,263 a | 58,249 | 34,697 b | 65,022 a |
| T ₃ | <i>Methylobacterium symbioticum</i> | 44,386 a | 67,551 | 30,197 a | 66,927 a |
| T ₄ | <i>Bradyrhizobium Azospirillum</i> | 68,810 b e | 72,033 | 32,605 ab | 58,868 a |
| | CV (%): | 9.26 | 20.95 | 7.28 | 7.42 |

*Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferenciam entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.
*ns: não significativo.

4 CONCLUSÃO

Pode-se concluir que, no experimento das análises de fixação biológica de nitrogênio e do metabolismo antioxidante, a utilização de *Bradyrhizobium* e *Azospirillum* se destacou. A *Methylobacterium symbioticum* obteve resultados relevantes também, seguida da ureia.

REFERÊNCIAS

- ALEXIEVA, V.; SERGIEV, I.; MAPELLI, S.; KARANOV, E. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. **Plant, Cell & Environment**, v. 24, p. 1337-1334, 2001.
- ARROBAS, M.; CORREIA, C. M.; RODRIGUES, M. Â. *Methylobacterium symbioticum* applied as a foliar inoculant was little effective in enhancing nitrogen fixation and lettuce dry matter yield. **Sustainability**, v. 16, n. 11, art. 4512, 2024. DOI: 10.3390/su16114512.
- BARROS, F. C.; CAMARGO, R.; LANA, R. M. Q.; FRANCO, M. H. R.; STANGER, M. C.; PEREIRA, V. J.; LEMES, E. M. *Azospirillum brasilense* and organomineral fertilizer co-inoculated with *Bradyrhizobium japonicum* on oxidative stress in soybean. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**. 2022.
- BATES, L.; WALDREN, R.P.; TEARE, I.D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 39, p. 205-207, 1973.
- BEAUCHAMP, C.; FRIDOVICH, I. Superoxide dismutase: improved assays and applicable to acrylamide gels. **Analytical Biochemistry**, New York, v. 44, n. 1, p. 276-287, 1971.
- BOR, M. F.; ÖZDEMİR, F.; TÜRKAN, I. The effect of salt stress on lipid peroxidation and antioxidants in leaves of sugar beet *Beta vulgaris* L. and wild beet *Beta maritima* L. **Plant Science**, Amsterdam, v. 164, p. 77-84, 2003.
- BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye-binding. **Analytical Biochemistry**, New York, v. 72, p. 248-254, 1976.
- CATALDO, D. A.; HAROON, M.; SCHRADEV, L. E.; YOUNGS, V. L.; Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 6, p. 71-80, 1975.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra brasileira de grãos**. v. 12, safra 2024/25, n. 12 - Décimo segundo levantamento. Setembro, 2025.
- DELBON, S. L. O. **Utilização de inoculantes biológicos para fixação de nitrogênio em leguminosas**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Uberlândia. 2023.

DENG, Y. W.; RO, S. Y.; ROSENZWEIG, A. C. Structure and function of the lanthanide-dependent methanol dehydrogenase XoxF from the methanotroph *Methylobacterium buryatense* 5GB1C. **Journal of Biological Inorganic Chemistry**, v. 23, n. 7, p. 1037–1047, 2018. DOI: 10.1007/s00775-018-1604-2.

EMBRAPA. **Fixação Biológica de Nitrogênio**. Embrapa-Agrobiologia, 2022.

FAGAN, E. B. *et al.* Fisiologia vegetal: fotossíntese, relações hídricas e nutrição mineral. **MyFarm Agro**. v. 1, p. 112-120, 2022.

FAGAN, E. B. *et al.* Fisiologia Vegetal: Mecanismos de defesa e tolerância ao estresse. **MyFarm Agro**. 2025.

GEORGE, D. M.; VINCENT, A. S.; MACKEY, H. R. An overview of anoxygenic phototrophic bacteria and their applications in environmental biotechnology for sustainable resource recovery. **Biotechnology Reports**, v. 28, e00563, 2020. DOI: 10.1016/j.btre.2020.e00563.

HEATH, R. L.; PACKER, L. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Archives in **Biochemistry and Biophysics**, New York, v.125, p.189-198, 1968.

MARCON, E. C.; ROMIO, S. C.; MACCARI, V. M.; KLEIN, C.; LÁJUS, C. R. Uso de diferentes fontes de nitrogênio na cultura da soja. **Revista Thema**, v.14, n. 2, p. 298-308, 2017.

NONATO, J. J. **Nutrição, fisiologia e produtividade de soja inoculada com *Azospirillum brasilense* e reguladores vegetais**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO – PR. Guarapuava (PR), 2016.

OLIVEIRA, L. A.; MACIEL, S. A.; QUEIROZ, L. L. Avaliação do índice padronizado de estiagem pluviométrica (IESP) aplicado ao município de Patos de Minas (MG). **ABCLIMA**, p. 1848-1859, 2014.

OLIVEIRA, L. P.; MACHADO, V. J. Inoculação antecipada e adubação nitrogenada na cultura da soja. **Revista Cerrado Agrociências**, Patos de Minas (MG), v. 12, p. 118-127. 2021.

OMAR, K. **Coinoculação com *Azospirillum brasilense* e *Bradyrhizobium* sp. aumenta absorção de nitrogênio e produtividade de feijão-caupi, sem alteração na recuperação de nitrogênio do fertilizante**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual Paulista (UNESP), Ilha Solteira (SP), junho. 2023.

PAIVA, V. J. P.; LAZARETTI, N. S. Inoculação e coinoculação na cultura da soja. **Revista Cultivando o Saber**, p. 85-94. 2022 (Edição Especial).

PEIXOTO, H. P. P.; CAMBRAIB, J.; SANT'ANA, R.; MOSQUIM, P. R.; MOREIRA, A.M. Aluminum effects on lipid peroxidation and the activities of enzymes of oxidative metabolism in sorghum. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Lavras, v. 11, n. 3, p. 137-143, 1999.

RODRIGUES, M. Â.; CORREIA, C. M.; ARROBAS, M. The application of a foliar spray containing *Methylobacterium symbioticum* had a limited effect on crop yield and nitrogen recovery in field and pot-grown maize. **Plants**, v. 13, n. 20, art. 2909, 2024. DOI: 10.3390/plants13202909.

SANTOS, A. H.; COPPETTI, K.; GRAUMANN, A. A.; TRAGNAGO, J. L. Resposta da soja (*Glycine Max* L.) à aplicação de Nitrogênio na forma de ureia em diferentes doses e estágios fenológicos. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 1, p. 1243-1250 jan. 2021.

SOHRABI, R.; PAASCH, B. C.; LIBER, J. A.; HE, S. Y. Phyllosphere microbiome. **Annual Review of Plant Biology**, v. 74, p. 539-568, 2023. DOI: 10.1146/annurev-arplant-102820-032704.

TEISSEIRE, H.; GUY, V. Copper-induced changes in antioxidant enzymes activities in fronds of duckweed (*Lemna minor*). **Plant Science**, Amsterdam, v. 153, p. 65-72, 2000.
VERA, R. T.; GARCIA, A. J. B.; ÁLVAREZ, F. J. C.; RUIZ, J. M.; MARTIN, F. F. Application and effectiveness of *Methylobacterium symbioticum* as a biological inoculant in maize and strawberry crops. **Folia Microbiologia**, p. 121-131. 2023.

YEMM, E. W.; COCKING, E. C. **The determination of amino-acids with ninhydrin**. 1955. Available in: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/1955/an/an9558000209>

YOUNG, E. G.; CONWAY, C. On the estimation of allantoin by the rimini-schryver reaction. **Journal of Biological Chemistry**, 1942.

ZERVAS, A.; ZENG, Y.; MADSEN, A. M.; HANSEN, L. H. Genomics of aerobic photoheterotrophs in wheat phyllosphere reveals divergent evolutionary patterns of photosynthetic genes in *Methylobacterium* spp. **Genome Biology and Evolution**, v. 11, n. 10, p. 2895-2908, 2019. DOI: 10.1093/gbe/evz204.

ZHU, Y.-G. *et al.* Harnessing biological nitrogen fixation in plant leaves. **Trends in Plant Science**, v. 28, n. 12, p. 1391-1405, 2023. DOI: 10.1016/j.tplants.2023.05.009.

Atenuadores de estresse hídrico no cafeeiro

Mitigators of water stress in coffee plants

ANDRÉ DE MELO ALMEIDA

Discente de Agronomia (UNIPAM)
andremelo1@unipam.edu.br

MARINA RODRIGUES DOS REIS

Professora orientadora (UNIPAM)
marinar@unipam.edu.br

Resumo: O estresse hídrico é um dos principais fatores limitantes da produtividade do cafeeiro, pois compromete processos fisiológicos e reduz o crescimento da planta. Este estudo teve como objetivo avaliar a eficácia de diferentes bioestimulantes na mitigação dos efeitos da deficiência hídrica em mudas de café (*Coffea arabica* L. cv. Arara). O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Campus I do Centro Universitário de Patos de Minas – UNIPAM, em Patos de Minas (MG), no ano de 2025. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com cinco tratamentos: controle sem estresse (T₁), controle com estresse (T₂), ácido salicílico (T₃), ácido jasmônico (T₄) e glutatona (T₅), com seis repetições, totalizando 30 unidades experimentais. As mudas, com seis a oito pares de folhas, foram cultivadas em vasos de 11 L contendo solo argiloso previamente caracterizado quanto à fertilidade. Após 15 dias de ambientação com irrigação diária, realizou-se a aplicação dos produtos via foliar por meio de pulverizador manual. Em seguida, o estresse hídrico foi induzido pela suspensão da irrigação durante 35 dias, exceto no tratamento controle sem estresse. Decorrido esse período, foram avaliados parâmetros de crescimento (comprimento da raiz e da parte aérea) e respostas bioquímicas (teor de prolina, atividade da enzima superóxido dismutase e peroxidação lipídica). Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o software SISVAR. Os resultados indicaram que o déficit hídrico reduziu significativamente o crescimento radicular e da parte aérea, além de intensificar a peroxidação lipídica. Entre os bioestimulantes avaliados, o ácido jasmônico e o ácido salicílico apresentaram maior potencial mitigador, favorecendo a proteção celular e promovendo melhor adaptação das plantas à condição de deficiência hídrica.

Palavras-chave: ácido jasmônico; ácido salicílico; bioestimulantes; *Coffea arabica*.

Abstract: Water stress is one of the main limiting factors for coffee yield, as it compromises physiological processes and reduces plant growth. This study aimed to evaluate the effectiveness of different biostimulants in mitigating the effects of water deficiency in coffee seedlings (*Coffea arabica* L. cv. Arara). The experiment was conducted in a greenhouse at Campus I of Centro Universitário de Patos de Minas – UNIPAM, in Patos de Minas (MG), in 2025. A randomized block design was used, with five treatments: non-stressed control (T₁), stressed control (T₂), salicylic acid (T₃), jasmonic acid (T₄), and glutathione (T₅), with six replications, totaling 30 experimental units. Seedlings with six to eight leaf pairs were grown in 11 L pots filled with previously characterized clayey soil. After 15 days of acclimation under daily irrigation, the products were applied by foliar spraying using a manual sprayer. Subsequently, water stress was induced by withholding irrigation for 35 days, except in the non-stressed control. At the end of

this period, growth parameters (root and shoot length) and biochemical responses (proline content, superoxide dismutase activity, and lipid peroxidation) were assessed. Data were subjected to analysis of variance (ANOVA), and means were compared using Tukey's test at a 5% significance level, with SISVAR software. The results indicated that water deficit significantly reduced root and shoot growth and increased lipid peroxidation. Among the biostimulants evaluated, jasmonic acid and salicylic acid showed the greatest mitigating potential, enhancing cellular protection and promoting improved plant adaptation to water deficiency.

Keywords: jasmonic acid; salicylic acid; biostimulants; *Coffea arabica*.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa a posição de maior produtor e exportador de café no mundo, além de ser o segundo país que mais consome essa bebida globalmente. De acordo com informações da CONAB (2025) para a safra 2025 a expectativa de produtividade é de 55,7 milhões de sacas de café beneficiadas. Minas Gerais, principal estado produtor, prevê uma colheita de 26,1 milhões de sacas beneficiadas. A área total dedicada à cafeicultura no Brasil em 2025, considerando tanto o café arábica quanto o conilon, soma 2,25 milhões de hectares, um crescimento de 0,8% em relação à safra anterior. Desse total, 1,86 milhão de hectares estão em produção, enquanto 397,3 mil hectares encontram-se em formação. Além disso, mais de 449,28 mil hectares são irrigados por diferentes sistemas (ANA, 2021).

Apesar da grande relevância do cafeeiro, a produtividade média dos frutos tem sido comprometida pelas variações climáticas nas regiões produtoras, sobretudo em função da distribuição irregular das chuvas (Koch *et al.*, 2018). Dentre os diversos fatores de estresse que afetam as plantas, a escassez de água é o principal responsável pela redução da produtividade das culturas agrícolas, pois impacta diretamente a capacidade fotossintética. Esse efeito promove o aumento da resistência estomática, dificultando a entrada de CO₂ nos cloroplastos e, consequentemente, comprometendo o desenvolvimento da planta (Peloso *et al.*, 2017).

No cafeeiro, a falta parcial de água, caracterizada por potencial hídrico foliar entre -0,5 MPa e -1,5 MPa, em momentos críticos, como o estabelecimento das mudas, o florescimento, a frutificação e o enchimento dos grãos, manifesta-se nas folhas por meio da perda de turgescência e do surgimento de clorose. Em casos de estresse hídrico intenso e repentino, podem ocorrer a redução do crescimento dos ramos verticais, a morte das raízes superficiais e a senescência das folhas e flores (Cararo; Dias, 2015). Nessas condições, processos fisiológicos essenciais, como fotossíntese, respiração e crescimento vegetal, tornam-se limitados, afetando diretamente a formação e maturação dos grãos. Além disso, se a escassez hídrica ocorrer após a abertura das flores, o cafeeiro pode apresentar atrofia e redução no tamanho dos frutos, o que impacta negativamente a produtividade (Camargo *et al.*, 1984; Freire; Miguel, 1984; Rena; Maestri, 1987).

Para enfrentar esses desafios, a irrigação é crucial para minimizar perdas na produção do café. No entanto, fatores como a escassez de água e os altos custos de produção e aquisição, somados a uma adoção inadequada do sistema de irrigação, podem comprometer a viabilidade do negócio (Marouelli; Silva, 2011). Nesse cenário, o

uso de produtos para atenuar os efeitos do estresse hídrico surge como alternativa viável, especialmente em áreas de cultivo em sequeiro (Stadnik *et al.*, 2017).

Estudos têm mostrado que o ácido salicílico (AS) pode atuar como um agente mitigador do déficit hídrico, aliviando os efeitos da desidratação em plantas (Silva *et al.*, 2017; IDREES *et al.*, 2010). O ácido jasmônico (AJ), por sua vez, é um fitormônio associado à regulação do crescimento e desenvolvimento das plantas, é especialmente importante em condições de estresse ambiental, como a deficiência hídrica, ao estimular a expressão de genes que respondem a esse tipo de estresse (Costa; Daros, 2010). Adicionalmente, a glutatona (GSH) também desempenha um papel crucial na desintoxicação de espécies reativas de oxigênio (EROs) e na modulação de funções essenciais da planta sob estresse (Akram *et al.*, 2017).

Nesse contexto, torna-se relevante aprofundar a análise dos efeitos dos bioestimulantes na redução do estresse hídrico em cafeeiros, considerando seu potencial para mitigar os impactos da deficiência de água sobre o desenvolvimento das plantas. Assim, este estudo teve como objetivo avaliar o desempenho desses atenuadores na cultura do café, buscando reduzir os danos causados pela escassez hídrica e contribuir para a adaptação da planta em condições de estresse.

2 METODOLOGIA

2.1 LOCAL

O experimento foi conduzido em janeiro de 2025 na casa de vegetação do Campus I do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), localizado no município de Patos de Minas (MG). De acordo com a classificação climática de Köppen e Geiger (1928), a região apresenta clima tropical de altitude (Cwa), caracterizado por precipitação média anual de aproximadamente 1400 mm, temperatura média anual de 21,1 °C e temperatura máxima média anual de 27,8 °C (CPTEC, 2022).

2.2 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, composto por cinco tratamentos e seis repetições, totalizando 30 unidades experimentais. Os tratamentos foram conduzidos em vasos com capacidade de 11 litros.

Os vasos foram preenchidos com solo argiloso proveniente do processo de pré-limpeza dos grãos de café (catação). O solo foi previamente submetido à análise de fertilidade, realizada pela empresa Terrena Agronegócios Ltda., conforme apresentado na Tabela 1. Não foi necessária a aplicação de adubação, devido à elevada disponibilidade de nutrientes no material analisado.

Tabela 1: Resultados da análise química do solo utilizado no experimento. Atenuadores de estresse hídrico no cafeeiro. Patos de Minas (MG), 2025

| pH | P-rem | P Melich | K | Ca | Mg | Al | H+Al | T | V% |
|------|-------|----------|--------------------------|-------|-------|------------------------------------------|-------|-------|-------|
| Águ | mg/L | ----- | mg/dm ³ ----- | ----- | ----- | cmol _c /dm ³ ----- | ----- | ----- | % |
| a | | | | | | | | | |
| 6,85 | 22,49 | 183,29 | 701,05 | 9,19 | 3,44 | 0,04 | 1,30 | 15,7 | 91,73 |
| | | | | | | | | 2 | |

A cultivar utilizada no experimento foi a Arara, sendo plantada uma única muda por vaso, com seis a oito pares de folhas, adquiridas em viveiro comercial localizado em Patos de Minas (MG).

Após um período de 15 dias para ambientação e manejo inicial das plantas, com irrigação diária, procedeu-se à aplicação foliar dos produtos, por meio de pulverizador manual, conforme as doses descritas na Tabela 2.

Tabela 2: Descrição dos tratamentos que foram utilizados no experimento. Atenuadores de estresse hídrico no cafeeiro. Patos de Minas (MG), 2025

| Tratamentos | Descrição | Dose ha |
|--------------|-----------------------|---------|
| Tratamento 1 | Controle sem estresse | 0 |
| Tratamento 2 | Controle com estresse | 0 |
| Tratamento 3 | Ácido Salicílico | 1000mg |
| Tratamento 4 | Ácido Jasmônico | 500mg |
| Tratamento 5 | Glutaciona | 200mg |

*O volume de calda utilizado foi de 500L ha⁻¹.

Após a aplicação dos tratamentos, todas as plantas, exceto aquelas pertencentes ao Tratamento 1, foram submetidas a um período de 35 dias sem irrigação, visando à indução do estresse hídrico. Ao término desse período, realizaram-se as avaliações de crescimento e a coleta de amostras foliares destinadas às análises bioquímicas.

3 AVALIAÇÕES

3.1 ANÁLISES DE CRESCIMENTO

3.1.1 Comprimento de raiz e parte aérea

O crescimento das plantas foi avaliado por meio da medição do comprimento da parte aérea e do sistema radicular. As mensurações foram realizadas logo após a desmontagem do experimento, utilizando-se uma fita métrica. O comprimento da parte aérea foi medido desde a base do caule até a extremidade da folha mais alta, enquanto o sistema radicular foi medido da base do caule até a ponta da raiz mais longa. Os valores foram expressos em centímetros (Peixoto; Peixoto, 2009).

3.2 ANÁLISES BIOQUÍMICAS

Para as análises bioquímicas, foram coletadas quatro folhas do terço superior de cada muda de cafeeiro. As folhas foram envolvidas em papel alumínio, identificadas e armazenadas em congelador. Em seguida, as amostras foram maceradas com nitrogênio líquido, procedimento necessário para preservar os compostos bioativos e permitir o preparo dos extratos utilizados nas análises subsequentes. As variáveis bioquímicas determinadas incluíram o teor de prolina, a atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) e a peroxidação lipídica.

3.2.1 Prolina

A quantificação da prolina livre foi realizada conforme o método descrito por Bates, Waldren e Teare (1973). O extrato foi preparado a partir de 200 mg de folhas frescas, homogeneizadas em 4 mL de ácido sulfossalicílico a 3%, e mantidas sob agitação constante por uma hora à temperatura ambiente (25 °C). Após centrifugação a 3.000 rpm por 10 minutos, o sobrenadante foi coletado. Para a reação, foram utilizados tubos de ensaio com tampa rosqueável, nos quais foram adicionados 1 mL de extrato, 1 mL de ninhidrina ácida (preparada com 1,25 g de ninhidrina, 30 mL de ácido acético glacial e 20 mL de ácido fosfórico 6 M) e 1 mL de ácido acético glacial. A mistura foi incubada em banho-maria a 100 °C por uma hora. Após esse período, os tubos foram resfriados em banho de gelo por 10 minutos para interromper a reação, e adicionou-se 2 mL de tolueno para extração da fase orgânica, que continha a prolina. A fase superior foi coletada para leitura da absorbância em 520 nm, utilizando-se tolueno como branco. O teor de prolina foi determinado com base em curva padrão e os resultados expressos em $\mu\text{mol g}^{-1}$ de matéria fresca (MF).

3.2.2 Superóxido Dismutase

A atividade da enzima superóxido dismutase foi determinada segundo o método descrito por Beauchamp e Fridovich (1971 *apud* Bor; Özdemir; Türkan, 2003). Para o preparo das reações, os tubos de ensaio foram protegidos da luz com papel-alumínio. Cada reação foi composta por 2000 μL de tampão fosfato de sódio (50 mmol L^{-1} , pH 7,8), 30 μL de extrato enzimático, 450 μL de solução de Nitroblue Tetrazolium (NBT) + EDTA (5:4), e 500 μL de solução de metionina + riboflavina (1:1). As amostras foram preparadas em duplicata. Uma das amostras foi exposta à luz por 10 minutos (sem papel-alumínio), enquanto a outra permaneceu protegida da luz. Após esse período, as leituras de absorbância foram realizadas a 560 nm em espectrofotômetro.

3.2.3 Peroxidação Lipídica

A peroxidação lipídica foi quantificada segundo o método de Heath e Packer (1968 *apud* Rama; Devi; Prasad, 1998), com base na concentração de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS). Para isso, 200 mg de tecido vegetal foram macerados com nitrogênio líquido e homogeneizados em 4 mL de solução contendo 0,25% de ácido

tiobarbitúrico (TBA) e 10% de ácido tricloroacético (TCA). O conteúdo foi transferido para tubos de ensaio com tampa rosqueável e vedados com papel-filme, sendo incubados em banho-maria a 90 °C por uma hora. Após o resfriamento, as amostras foram centrifugadas a $10.000 \times g$ por 15 minutos à temperatura ambiente. O sobrenadante foi utilizado para leituras de absorbância em espectrofotômetro, nas faixas de 560 e 600 nm. Os resultados foram expressos em mol g^{-1} de TBARS por grama de matéria fresca.

3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

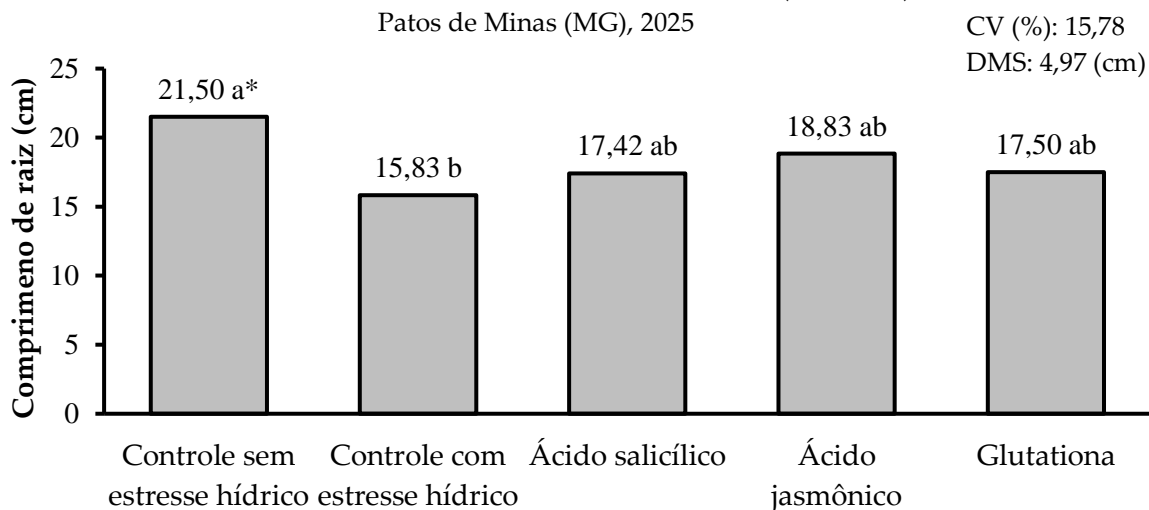
Os dados obtidos nas análises de crescimento e bioquímicas foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para a realização das análises estatísticas, foi utilizado o software SISVAR (Ferreira, 2014).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 COMPRIMENTO DE RAIZ E PARTE AÉREA

Conforme apresentado na Figura 1, observou-se diferença estatística significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade para o comprimento da raiz. O tratamento controle sem estresse hídrico (T_1) apresentou a maior média, diferindo estatisticamente do controle com estresse hídrico (T_2), que registrou o menor valor.

Figura 1: Comprimento de raiz de plantas de café do ensaio: “Atenuadores de estresse hídrico no cafeeiro”. Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM).



*Médias seguidas da mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

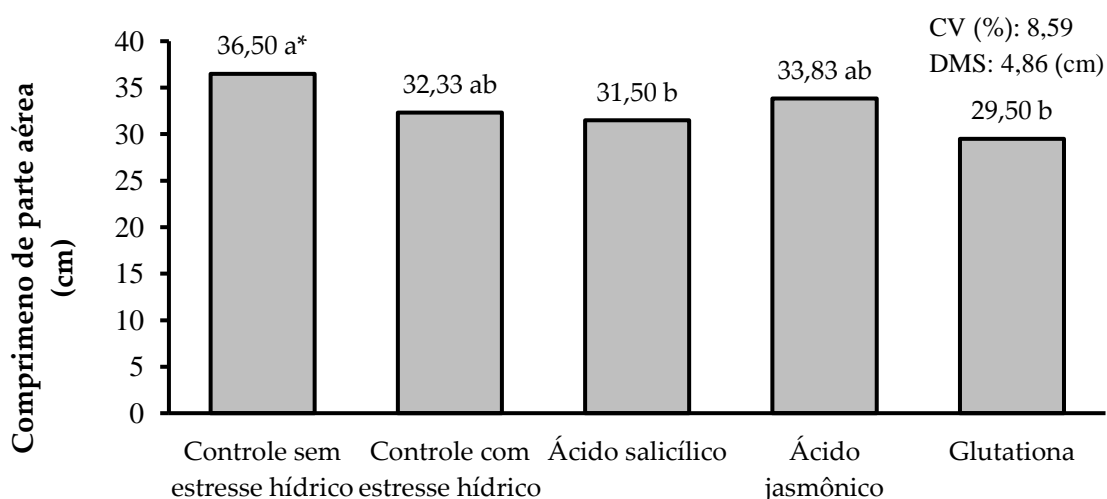
Os tratamentos com aplicação de bioestimulantes — ácido salicílico (T_3), ácido jasmônico (T_4) e glutathione (T_5) — apresentaram médias intermediárias, não diferindo estatisticamente entre si. Isso demonstra que os bioestimulantes exerceram efeito

positivo sobre o crescimento radicular, uma vez que as mudas tratadas apresentaram maior desenvolvimento, em nível estatístico, quando comparadas ao tratamento 2.

Esses resultados evidenciam a sensibilidade do sistema radicular ao déficit hídrico. De forma semelhante, Martins *et al.* (2006), ao avaliarem diferentes níveis de irrigação no cafeeiro conilon durante a fase inicial de crescimento, verificaram que a maior disponibilidade de água favoreceu o desenvolvimento das raízes, enquanto a restrição hídrica exerceu efeito negativo expressivo no crescimento das plantas.

Na Figura 2, são apresentados os resultados para o comprimento da parte aérea, também evidenciando diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos. O controle sem estresse hídrico (T₁) apresentou o maior valor médio, diferindo significativamente dos demais tratamentos, o que já era esperado diante da ausência de déficit hídrico.

Figura 2: Comprimento de parte aérea de plantas de café do ensaio: “Atenuadores de estresse hídrico no cafeeiro”. Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). Patos de Minas (MG), 2025



*Médias seguidas da mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

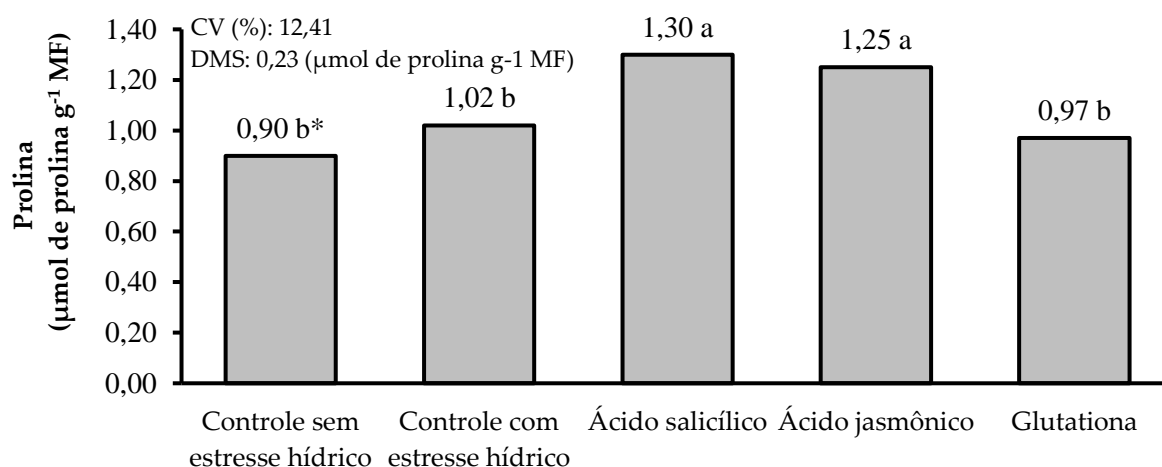
Entre os tratamentos com aplicação de bioestimulantes, o ácido jasmônico (T₄) apresentou desempenho superior, alcançando crescimento próximo ao do controle, o que sugere efeito mitigador sobre os impactos da baixa disponibilidade de água. Em contrapartida, o ácido salicílico (T₃) e a glutathione (T₅) apresentaram menores médias, demonstrando eficiência limitada para preservar o crescimento da parte aérea sob condições de estresse hídrico.

Resultados divergentes foram relatados por Mazzuchelli, Souza e Pacheco (2014), que observaram aumento significativo na altura de plantas de eucalipto com a aplicação de ácido salicílico, além de incremento expressivo na área foliar. Esses achados indicam que os efeitos dos bioestimulantes podem variar conforme a espécie e as condições experimentais.

4.2 PROLINA

Conforme apresentado na Figura 3, verificou-se diferença significativa no teor de prolina entre os tratamentos. Os maiores valores foram observados nos tratamentos com ácido jasmônico (T₄) e ácido salicílico (T₃), os quais se mostraram estatisticamente superiores tanto aos controles, com e sem estresse hídrico (T₁ e T₂), quanto ao tratamento com glutatona (T₅).

Figura 3: Teor de Prolina em plantas de café do ensaio: “Atenuadores de estresse hídrico no cafeeiro”. Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). Patos de Minas (MG), 2025



*Médias seguidas da mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O acúmulo de prolina desempenha papel fundamental como osmoprotetor, contribuindo para a manutenção do turgor celular e para a estabilização de estruturas durante condições de estresse hídrico. De acordo com Marin (2003), esse aminoácido atua na prevenção da desnaturação de proteínas e preserva a integridade das enzimas, garantindo que processos fisiológicos essenciais não sejam comprometidos. Além disso, a prolina pode funcionar como eliminadora de radicais livres, reduzindo os danos oxidativos gerados pelo déficit hídrico e favorecendo maior resiliência das plantas em ambientes adversos (Taylor, 1996; Leite *et al.*, 2000).

Nesse sentido, os resultados obtidos no presente estudo reforçam a importância desse mecanismo de defesa, uma vez que os tratamentos com ácido salicílico (T₃) e ácido jasmônico (T₄) demonstraram eficácia na indução do acúmulo de prolina. Essa resposta fisiológica proporcionou maior tolerância das plantas à escassez de água, evidenciando o papel central da prolina no ajustamento osmótico e na estabilização das estruturas celulares (Marin, 2003; Taylor, 1996; Leite *et al.*, 2000).

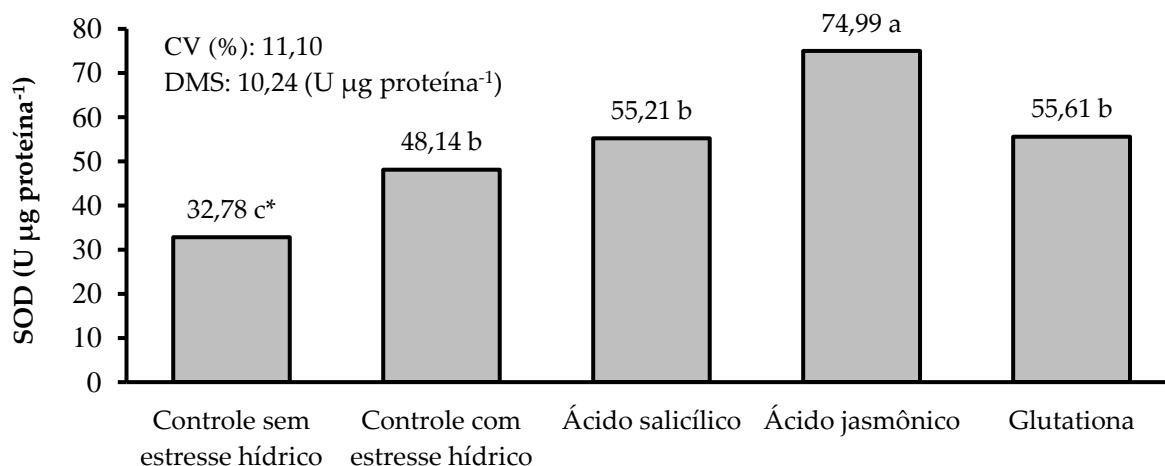
Resultados semelhantes foram descritos por Anjum *et al.* (2011), que, ao avaliarem a aplicação de ácido jasmônico em plantas de soja submetidas à deficiência hídrica, observaram aumento no teor de prolina e redução da peroxidação lipídica, tanto em plantas estressadas quanto nas não estressadas. Esses achados reforçam a eficiência do ácido jasmônico como regulador vegetal.

De forma complementar, Hussain *et al.* (2008) relataram aumento no teor de prolina em plantas de girassol tratadas com ácido salicílico sob estresse hídrico, resultado igualmente confirmado por Hussain, Balbaa e Gaballah (2007) em plantas de milho. Por outro lado, Durães (2006) observou redução na síntese e acúmulo de prolina em feijão da variedade *Guarumbé* submetido à aplicação de ácido salicílico aliado à deficiência hídrica, indicando que os efeitos desse composto podem variar conforme a espécie e as condições experimentais.

4.3 SUPERÓXIDO DISMUTASE (SOD)

Conforme mostrado na Figura 4, a atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) apresentou diferenças estatisticamente significativas pelo teste de Tukey a 5%. O tratamento com ácido jasmônico (T₄) apresentou a maior média de atividade enzimática, seguido pela glutatona (T₅), ácido salicílico (T₃) e pelo controle com estresse hídrico (T₂), os quais não diferiram estatisticamente entre si.

Figura 4: Atividade da enzima Superóxido Dismutase em plantas de café do ensaio: “Atenuadores de estresse hídrico no cafeeiro”. Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). Patos de Minas (MG), 2025



*Médias seguidas da mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A superóxido dismutase (SOD) é uma enzima antioxidante considerada a primeira linha de defesa contra o estresse oxidativo nas plantas. Ela catalisa a conversão do radical superóxido em peróxido de hidrogênio e oxigênio, evitando danos às estruturas celulares. Sua atividade tende a aumentar em condições adversas, como déficit hídrico, salinidade, altas temperaturas ou ataques de patógenos, funcionando como um mecanismo essencial para a manutenção da integridade celular (Foyer; Noctor, 2000; Xiong; Zhu, 2001; Broetto; Lüttge; Ratajczak, 2002).

A elevada atividade observada no tratamento T₄ demonstra que o ácido jasmônico foi mais eficaz na ativação das defesas antioxidantes enzimáticas, favorecendo a neutralização dos radicais superóxido produzidos em maior quantidade

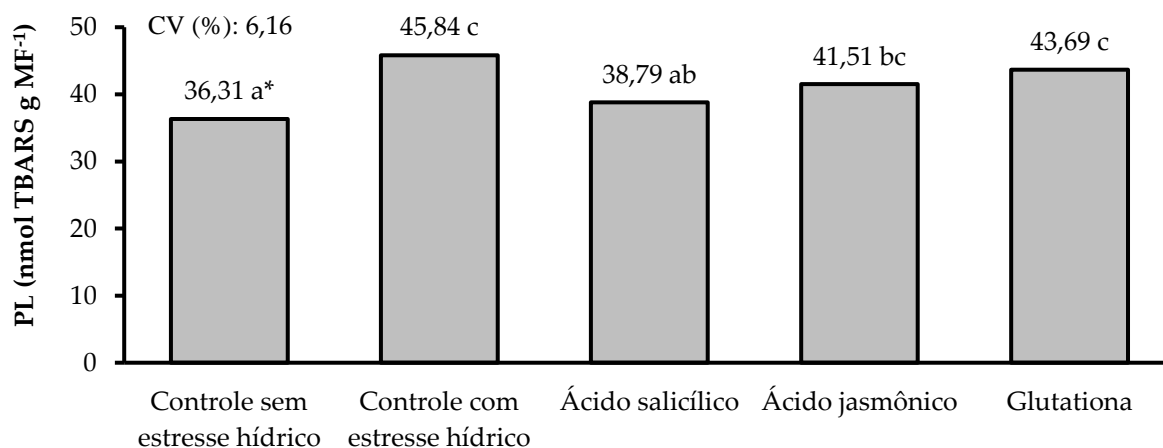
durante o estresse hídrico. Como esperado, o menor valor foi registrado no controle sem estresse hídrico (T₁), devido à menor necessidade de ativação dessa defesa enzimática.

Esses resultados corroboram os achados de Qiu *et al.* (2014), que verificaram aumento significativo na atividade da SOD em plantas de soja submetidas ao déficit hídrico após a aplicação de ácido jasmônico, evidenciando efeito protetor contra o estresse oxidativo. De forma semelhante, Ahmad *et al.* (2018) observaram elevação da atividade dessa enzima em plantas de feijão expostas à seca, reforçando que o ácido jasmônico contribui para a mitigação dos danos causados pelo déficit hídrico.

4.4 PEROXIDAÇÃO LIPÍDICA

Os resultados evidenciam diferenças estatisticamente significativas nos níveis de peroxidação lipídica entre os tratamentos avaliados, de acordo com o teste de Tukey a 5% (Figura 5). O tratamento controle sem estresse hídrico (T₁) apresentou os menores valores, indicando que a ausência de déficit hídrico favoreceu a manutenção da integridade das membranas celulares.

Figura 5: Teor de Peroxidação Lipídica em plantas de café do ensaio: “Atenuadores de estresse hídrico no cafeeiro”. Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). Patos de Minas (MG), 2025



*Médias seguidas da mesma letra não se diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A peroxidação lipídica é um dos principais processos do estresse oxidativo em plantas, ocorrendo quando espécies reativas de oxigênio (EROS) atacam os lipídios das membranas, formando hidroperóxidos. Esse processo compromete a fluidez e a integridade das membranas, causando alterações na permeabilidade e nas funções associadas a essas estruturas, o que pode desestabilizar o metabolismo celular e prejudicar funções essenciais (Queiroz *et al.*, 1998; Aziz; Larher, 1998).

De forma semelhante ao T₁, os tratamentos com ácido salicílico (T₃) e ácido jasmônico (T₄) também apresentaram valores reduzidos, demonstrando efeito protetor frente aos danos oxidativos. Esses resultados sugerem que a aplicação desses bioestimulantes pode desempenhar papel importante na preservação da estabilidade celular em condições de estresse.

Por outro lado, os maiores índices de peroxidação foram observados no tratamento com glutathione (T₅) e no controle submetido ao estresse hídrico (T₂), sendo este último o que apresentou os valores mais elevados. Esse resultado evidencia o impacto negativo do déficit hídrico sobre a estabilidade das membranas, principalmente quando não há a presença de compostos bioativos capazes de reduzir os danos oxidativos.

Resultados semelhantes foram relatados por Martín (2009), que observou aumento da peroxidação lipídica em plantas de feijão sob estresse hídrico, mas constatou reduções expressivas quando as plantas foram previamente tratadas com ácido salicílico. De forma análoga, Agarwal *et al.* (2005) verificaram que plantas de trigo pulverizadas com ácido salicílico apresentaram menores níveis de peroxidação, mesmo em condições de estresse moderado, reforçando a eficácia desse regulador vegetal como agente protetor contra os danos oxidativos.

5 CONCLUSÃO

A aplicação de bioestimulantes, principalmente ácido jasmônico e ácido salicílico, reduziu os efeitos do estresse hídrico no cafeeiro, contribuindo para a proteção celular e melhor adaptação das plantas.

REFERÊNCIAS

- AGARWAL, S. *et al.* Changes in antioxidant enzymes activity and oxidative stress by abscisic acid and salicylic acid in wheat genotypes. **Biologia Plantarum**, Praha, v. 49, n. 4, p. 541-550, 1 dez. 2005. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s10535-005-0048-z>.
- AHMAD, P. *et al.* Mitigation of sodium chloride toxicity in *Solanum lycopersicum* L. by supplementation of jasmonic acid and nitric oxide. **Journal of Plant Interactions**, v. 13, n. 1, p. 64-72, jan. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/17429145.2017.1420830>
- AKRAM, N. A.; SHAFIQ, F.; ASHRAF, M. Ascorbic acid-a potential oxidant scavenger and its role in plant development and abiotic stress tolerance. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 613, 26 abr. 2017. Disponível em <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2017.00613>.
- ANA - Agência Nacional de Águas. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. 2. ed. Brasília, DF: ANA, 2021. 130p.
- ANJUM, S. A. *et al.* Methyl Jasmonate-Induced Alteration in Lipid Peroxidation, Antioxidative Defence System and Yield in Soybean Under Drought. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 197, n. 4, p. 296-301, 14 mar. 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1439-037x.2011.00468.x>.

AZIZ, A.; LARHER, F.; Osmotic stress induced changes in lipid composition and peroxidation in leaf discs of *Brassic nappus* L. **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 153, n. 5-6, p. 754-762, nov. 1998. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/s0176-1617\(98\)80231-9](http://dx.doi.org/10.1016/s0176-1617(98)80231-9).

BATES, L.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant And Soil**, v. 39, n. 1, p. 205-207, ago. 1973. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/bf00018060>.

BEAUCHAMP, C.; FRIDOVICH, I. Superoxide dismutase: improved assays and applicable to acrylamide gels. *Analytical Biochemistry*, New York, v. 44, n. 1, p. 276-287, 1971 *apud* BOR, M; ÖZDEMİR, F; TÜRKAN, I. The effect of salt stress on lipid peroxidation and antioxidants in leaves of sugar beet *Beta vulgaris* L. and wild beet *Beta maritima* L. **Plant Science**, v. 164, n. 1, p. 77-84, jan. 2003. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/s0168-9452\(02\)00338-2](http://dx.doi.org/10.1016/s0168-9452(02)00338-2).

BOR, M; ÖZDEMİR, F; TÜRKAN, I. The effect of salt stress on lipid peroxidation and antioxidants in leaves of sugar beet *Beta vulgaris* L. and wild beet *Beta maritima* L. **Plant Science**, v. 164, n. 1, p. 77-84, jan. 2003. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/s0168-9452\(02\)00338-2](http://dx.doi.org/10.1016/s0168-9452(02)00338-2).

BROETTO, F.; LUTTGE, U.; RATAJCZAK, R. Influence of light intensity and salt-treatment on mode of photosynthesis and enzymes of the antioxidative response system of *Mesembryanthemum crystallinum*. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 29, n. 1, p. 13-23, 16 jan. 2002. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1071/pp00135>.

CAMARGO, A. P. *et al.* Efeitos na produção de café de épocas de rega e de supressão de água, por meio de cobertura transparente (barcaça). *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS*, 11., 1984, Londrina. **Anais [...]**. Londrina: CBPC, 1984. p. 62-64.

CARARO, D. C.; DIAS, A. F. S. **Café na Amazônia: irrigação em cafeeiros**. Brasília: EMBRAPA, 2015.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de café**, Brasília, DF, v.12, n. 1, primeiro levantamento, jan. 2025.

COSTA, N. L.; DAROS, E. **Bioestimulante como fator de produtividade da cana-de-açúcar**. Roraima: Embrapa, 2010. Artigo de divulgação na mídia.

CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. **Boletim técnico**. Disponível em: <https://tempo.cptec.inpe.br/mg/patos-de-minascafé>.

DURÃES, M. A. B. **Respostas de duas populações de feijões (*Phaseolus vulgaris* L.) tratadas com ácido salicílico e submetidas a estresse hídrico**. 2006. 32 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente, 2006. Disponível em: <http://bdtd.unoeste.br:8080/tede/handle/tede/616>

FERREIRA, D. F. **SISVAR - Sistema de análise de variância**. Lavras: UFLA, 2014.
FOYER, C. H.; NOCTOR, G. Oxygen processing in photosynthesis: Regulation and signaling. **New Phytologist**, v. 146, n. 3, p. 359-388, jun. 2000. Wiley.
<http://dx.doi.org/10.1046/j.1469-8137.2000.00667.x>.

FREIRE, A. C. F.; MIGUEL, A. E. Disponibilidade de água no solo no período de 1974 a 1984 e seus efeitos na granação, qualidade e rendimento do café nos anos de 1983 a 1984, na região de Varginha – MG. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 11., 1984, Londrina. **Anais [...]**. Londrina: CBPC, 1984. p. 113-114.

HEATH, R. L.; PACKER, L. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, v. 125, n. 1, p. 189-198, abr. 1968 *apud* RAMA DEVI, S.; PRASAD, M. N. V. Copper toxicity in *Ceratophyllum demersum* L. (Coontail), a free floating macrophyte: response of antioxidant enzymes and antioxidants. **Plant Science**, Amsterdam, v. 138, n. 2, p. 157-165, nov. 1998. Disponível em:
[http://dx.doi.org/10.1016/s0168-9452\(98\)00161-7](http://dx.doi.org/10.1016/s0168-9452(98)00161-7).

HUSSAIN, M. M.; BALBAA, L. K.; GABALLAH, M. S. Salicylic acid and salinity effects on growth of maize plants. **Research Journal of Agriculture and Biological Sciences**, v. 31, n. 4, p. 321-328, 2007.

HUSSAIN, M. M. *et al.* Improving drought tolerance by exogenous application of glycinebetaine and salicylic acid in sunflower. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 194, n. 3, p. 193-199, 2008.

IDREES, M. *et al.* Salicylic acid-induced physiological and biochemical changes in lemongrass varieties under water stress. **Journal Of Plant Interactions**, v. 5, n. 4, p. 293-303, 25 ago. 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/17429145.2010.508566>.

KOCH, H. *et al.* Integrated hydro- and wind power generation: a game changer towards environmental flow in the sub-middle and lower são francisco river basin? **Regional Environmental Change**, v. 18, n. 7, p. 1927-1942, 13 mar. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s10113-018-1301-2>.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.

LEITE, M. L. *et al.* Variação de prolina em folhas de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) submetido a diferentes déficits hídricos. **Revista Biotemas**, v. 12, n. 1, p. 21-33. 2000.

- MARIN, A. **Influência associada do estresse hídrico e do alumínio na germinação e crescimento inicial do guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.)**. 2003. 96 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Unesp, Jaboticabal, 2003. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/97003>.
- MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. Seleção de sistemas de irrigação para hortaliças. **Circular Técnica**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2. ed. Circular Técnica 98, 2011. 24 p.
- MARTÍN, F. J. P. **Respuestas inducidas por ácido abscísico y ácido salicílico en las simbiosis de judía y alfalfa en estrés hídrico**. 2009. 395 f. Faculdade de Ciencias, Universidade de Granada, Granada, 2009.
- MARTINS, C. C. *et al.* Crescimento inicial do café conilon (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) sob diferentes lâminas de irrigação. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 14, n. 3, p. 193-201, 2006.
- MAZZUCHELLI, E.H. L.; SOUZA, G. M.; PACHECO, A. C. Rustificação de mudas de eucalipto via aplicação de Ácido salicílico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 4, p. 443-450, dez. 2014. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/s1983-40632014000400012>.
- PEIXOTO, C. P.; PEIXOTO, M. F. S. P. Dinâmica do crescimento vegetal: princípios básicos. In: Carvalho, C. A. L. de *et al.* (org). **Tópicos em ciências agrárias**. Cruz das Almas: UFRB, v. 1, 2009.
- PELOSO, A. F. *et al.* Limitações fotossintéticas em folhas de cafeeiro arábica promovidas pelo déficit hídrico. **Coffee Science**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 389-399, jul./set. 2017. Disponível em: <https://sbicafe.ufv.br/items/ee3f6497-e517-460d-846f-8e5c10893db2>.
- QIU, Z. *et al.* Exogenous jasmonic acid can enhance tolerance of wheat seedlings to salt stress. **Ecotoxicology and Environmental Safety**. 2014. 104:202–208.
- QUEIROZ, C. G. S. *et al.* Chilling induced changes in membrane fluidity and antioxidant enzyme activities in *Coffea arabica* L. roots. **Biology Plantarum**, Prague, v. 41, n. 3, p. 403- 413, 1998.
- RAMA DEVI, S.; PRASAD, M.N.V. Copper toxicity in *Ceratophyllum demersum* L. (Coontail), a free floating macrophyte: response of antioxidant enzymes and antioxidants. **Plant Science**, Amsterdam, v. 138, n. 2, p. 157-165, nov. 1998. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/s0168-9452\(98\)00161-7](http://dx.doi.org/10.1016/s0168-9452(98)00161-7).
- RENA, A. B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. In: RENA, A. B. *et al.* **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Potafos, 1987. p. 13-85.

STADNIK, M. J.; ASTOLFI, P.; FREITAS, M. B. de. Bioestimulantes: uma perspectiva global e desafios para a América Latina. *In: SIMPÓSIO LATINOAMERICANO SOBRE BIOESTIMULANTES NA AGRICULTURA*, 1., 2017, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: UFSC, 2017.

SILVA, A. C. da *et al.* (2017). Salicylic acid as attenuator of drought stress on germination and initial development of sesame. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 3, p. 156-162, mar. 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n3p156-162>.

TAYLOR, C. B. Proline and water deficit: ups, downs, ins, and outs. **Plant Cell**, Rockville, v. 8, p. 1221-1224, 1996. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/3870296>

XIONG, L.; ZHU, J. K. Abiotic stress signal transduction in plants: Molecular and genetic perspectives. **Physiologia Plantarum**, v. 112, n. 2, p. 152-166, jun. 2001. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1034/j.1399-3054.2001.1120202.x>.

Extrato de algas na produção do tomate cereja

Seaweed extract in cherry tomato production

PEDRO HENRIQUE ANDRADE CAETANO

Discente de Agronomia (UNIPAM)
pedroandrade@unipam.edu.br

JANAINÉ MYRNA RODRIGUES REIS

Professora orientadora (UNIPAM)
janaine@unipam.edu.br

Resumo: O tomateiro é uma cultura de grande importância econômica e nutricional, destacando-se no Brasil pelo alto consumo e valor de mercado, especialmente a variedade cereja. Devido aos elevados custos de produção, busca-se alternativas sustentáveis como o uso de extrato de algas marinhas, especialmente *Ascophyllum nodosum*, que atua como bioestimulante, promovendo crescimento, produtividade e resistência das plantas. Este estudo teve como objetivo avaliar doses desse extrato na produção de tomate cereja da cultivar Carolina. O experimento foi conduzido em casa de vegetação no município de Rio Paranaíba (MG), entre maio e agosto de 2025, durante 95 dias após o transplântio das mudas. O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados (DBC), com seis tratamentos e cinco blocos, totalizando 30 parcelas experimentais compostas por vasos de 8 litros contendo duas mudas inicialmente, retirando uma planta após o desbaste. Os tratamentos foram compostos por doses do produto comercial à base de *Ascophyllum nodosum* (0,0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 L ha⁻¹), aplicadas via foliar, com pulverizações realizadas aos 15 e 30 dias após o transplântio. Aos 95 dias, foram avaliados altura de parte aérea (cm), massa seca de parte aérea e radicular (g), quantidade e peso de frutos (g). Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando significativos, ajustados a modelos de regressão ao nível de 5% de probabilidade. Para quantidade e peso de frutos, observou-se ajuste ao modelo quadrático, indicando incremento das variáveis até a dose de 1,5 L ha⁻¹, ponto de máxima eficiência. Doses superiores reduziram o desempenho, embora todas tenham superado o tratamento controle (0,0 L ha⁻¹). Conclui-se que o extrato de algas à base de *Ascophyllum nodosum* promoveu incrementos nos parâmetros produtivos do tomateiro cereja, sendo a dose de 1,5 L ha⁻¹ a mais eficiente nas condições experimentais.

Palavras-chaves: *Ascophyllum nodosum*; bioestimulante; tomateiro.

Abstract: Tomato is a crop of great economic and nutritional relevance, standing out in Brazil due to its high consumption and market value, especially the cherry tomato type. Owing to the high production costs, sustainable alternatives such as the use of seaweed extract—particularly *Ascophyllum nodosum*—have been sought. This extract acts as a biostimulant, promoting plant growth, productivity, and stress tolerance. This study aimed to evaluate different doses of this extract on the production of Carolina cherry tomato. The experiment was conducted in a greenhouse in the municipality of Rio Paranaíba (MG), from May to August 2025, over a period of 95 days after seedling transplanting. A randomized block design (RBD) was used, with six treatments and five blocks, totaling 30 experimental plots consisting of 8-L pots containing two seedlings initially, with one plant removed after thinning. Treatments consisted of doses of a commercial product based on *Ascophyllum nodosum* (0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, and 2.5 L ha⁻¹), applied

via foliar spraying at 15 and 30 days after transplanting. At 95 days, plant height (cm), shoot and root dry mass (g), and number and weight of fruits (g) were evaluated. Data were subjected to analysis of variance and, when significant, fitted to regression models at a 5% probability level. For fruit number and weight, a quadratic model was fitted, indicating an increase in these variables up to the dose of 1.5 L ha⁻¹, which represented the point of maximum efficiency. Higher doses reduced performance, although all exceeded the control treatment (0.0 L ha⁻¹). It is concluded that the *Ascophyllum nodosum*-based seaweed extract promoted increases in productive parameters of cherry tomato, with 1.5 L ha⁻¹ being the most efficient dose under the experimental conditions.

Key-words: *Ascophyllum nodosum*; biostimulant; tomato plant.

1 INTRODUÇÃO

A cultura do tomateiro ocupa posição de destaque no mercado das olerícolas, sendo a hortaliça mais cultivada mundialmente e apresentando elevada importância social e econômica no Brasil. Isso se deve, principalmente, ao seu alto teor nutricional, por ser fonte de vitaminas, aminoácidos essenciais, antioxidantes, ácidos orgânicos, além de seu sabor ser muito apreciado pelos consumidores (Borges, 2023).

Na safra de 2024, a produção nacional de tomate alcançou 4,67 milhões de toneladas, distribuídas em uma área plantada de 62.372 hectares. O estado de Goiás destacou-se como principal produtor, responsável por aproximadamente 31,4% da produção nacional, seguido por São Paulo, com 23,1%. O mercado da cultura é segmentado entre o consumo *in natura*, predominante no país e correspondente a cerca de 70% da produção, e o processamento industrial, que absorve o restante. A classificação dos tomates de mesa baseia-se no tamanho e no formato dos frutos, sendo as principais variedades: santa cruz, salada, caqui, italiano e cereja (Sturião, 2017).

Nesse contexto, o tomate cereja se sobressai por apresentar maior rusticidade e facilidade em seus tratos culturais, fazendo dessa variedade do tomateiro uma excelente opção de cultivo para pequenos e médios produtores, tendo em vista sua elevada produtividade, rentabilidade e mercado de alto valor agregado com boa aceitação dos consumidores (Soldateli *et al.*, 2020). Este fruto se destaca pelo sabor levemente adocicado, tonalidade avermelhada e formato arredondado, possuindo um preço atrativo e valor médio de mercado superior ao de outras variedades de tomate (Cabestré; Gomes, 2023).

No entanto, dentre as olerícolas que possuem maior custo de produção o tomate se destaca, devido os vários fatores que interferem em sua cadeia produtiva até chegar na mesa do consumidor final, sendo assim de suma importância buscar alternativas para potencializar a produtividade da cultura e diminuir os custos de produção (Rosa; Reis, 2023). O desenvolvimento do tomateiro está diretamente relacionado com a interação de fatores genéticos, fisiológicos e ambientais. Além disso, o alto investimento no cultivo dessa hortaliça se dá pela alta exigência nutricional, hídrica e fitossanitária que a cultura necessita que são aspectos que interferem na produção e qualidade dos frutos (Sousa *et al.*, 2019).

Dentre os extratos de algas marinhas utilizados na agricultura, destacam-se aqueles à base de *Ascophyllum nodosum*, espécie amplamente empregada devido à

elevada concentração de compostos bioativos. As substâncias bioativas extraídas dessa alga têm sido aplicadas na agricultura com o intuito de aumentar o crescimento e a produtividade das plantas, proporcionando vários benefícios a essas como aumento da tolerância à estresses bióticos e abióticos, bem como fornece matéria orgânica, minerais, oligoelementos, reguladores de crescimento vegetal, metabólitos, vitaminas e aminoácidos (Stormowski *et al.*, 2024). Segundo Wally *et al.* (2013), os extratos de *Ascophyllum nodosum* podem elevar a resistência a patógenos por induzirem a expressão de genes relacionados à defesa.

Ressalta-se que a eficácia do extrato de algas depende do método de aplicação, das doses empregadas, da frequência e do momento de aplicação. Embora seus efeitos positivos tenham sido demonstrados em diversas culturas, a adoção desse insumo apresenta variações significativas. Tal cenário reforça a necessidade de pesquisas adicionais, uma vez que a resposta fisiológica das plantas pode variar conforme a espécie, o estágio fenológico, a concentração do extrato e a interação entre reguladores de crescimento e fatores ambientais, como temperatura e umidade (Panzarin; Martins, 2024).

Diante do exposto, o tomate apresenta elevado valor comercial e nutricional, sendo cada vez mais demandado em sistemas de cultivo sustentáveis. O uso de extratos de algas marinhas constitui uma alternativa promissora por atuar como bioestimulante capaz de favorecer o crescimento, a absorção de nutrientes, os mecanismos de defesa e a tolerância a estresses. Além de potencializar o desempenho da cultura, esses extratos contribuem para a redução do uso de insumos químicos, promovendo práticas agrícolas mais sustentáveis. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar diferentes doses de extrato de *Ascophyllum nodosum* sobre o desenvolvimento e a produção de tomate cereja.

2 METODOLOGIA

O experimento foi conduzido no município de Rio Paranaíba, no estado de Minas Gerais, região caracterizada por clima com verões quentes e chuvosos e invernos secos, apresentando temperaturas médias mensais inferiores a 18 °C no mês mais frio (Martins *et al.*, 2018). A instalação do experimento foi feita em casa de vegetação, com estrutura composta por sombrite que bloqueia 70% de luz solar, pertencente ao Rancho Santa Rosa localizado a altitude de 1.010 metros em relação ao nível do mar. O período de condução do experimento foi entre os meses de maio a agosto de 2025.

Antes da implantação do experimento, foram coletadas amostras de solo de profundidade 0-20 centímetros para análise química. Os resultados (Tabela 1) indicaram ausência de necessidade de calagem e adubação, uma vez que os teores de nutrientes se encontravam adequados às exigências da cultura do tomateiro, conforme as recomendações agronômicas de Ribeiro *et al.* (1999). Após a análise, o solo foi peneirado e utilizado em mistura com areia, na proporção de 2:1 (v/v).

Tabela 1: Análise química do solo usado no preenchimento de vasos no ensaio: “Extrato de algas na produção do tomate cereja”. Patos de Minas (MG), 2025

| pH | M.O. | H+Al | Al | Ca | Mg | K | CTC _T | SB | P-meh | V | m |
|------------------|-------------------------|------------------------|-----|-----|-----|-----|------------------|-----|---------------------|----|-----|
| H ₂ O | dag kg ⁻¹ | cmolc dm ⁻³ | | | | | | | mg dm ⁻³ | % | |
| 6,1 | 3,8 | 1,8 | 0,0 | 4,3 | 2,8 | 0,9 | 9,9 | 8,0 | 57,0 | 81 | 0,5 |

As mudas de tomate cereja utilizadas foram da cultivar Carolina, adquiridas em viveiro comercial. O transplantio ocorreu 30 dias após a semeadura, sendo transplantadas duas plantas por vaso. Após 20 dias do transplantio das mudas foi realizado o desbaste, deixando apenas uma planta vigorosa por vaso. Após o desbaste, também foi realizado o tutoramento das mudas, primeiramente com espeto de bambu de 50 cm e fitilhos, em que conforme o crescimento das plantas foi colocado estacas de 80 cm de comprimento.

O delineamento experimental adotado no estudo foi em blocos casualizados (DBC) com seis tratamentos e cinco blocos, totalizando 30 parcelas experimentais compostas por vasos de 8 litros contendo 2 mudas inicialmente, retirando uma planta após o desbaste. Os tratamentos foram compostos por diferentes doses do produto comercial à base de *Ascophyllum nodosum*, conforme descrito na Tabela 2.

Tabela 2: Descrição dos tratamentos utilizados no ensaio: “Extrato de algas na produção do tomate cereja”. Patos de Minas (MG), 2025

| Tratamentos | Dose de p. c. á base de <i>Ascophyllum nodosum</i> (L ha ⁻¹) |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------|
| T1 | Controle |
| T2 | 0,5 |
| T3 | 1,0 |
| T4 | 1,5 |
| T5 | 2 |
| T6 | 2,5 |

Os tratamentos foram aplicados 15 e 30 dias após o transplantio das mudas, em que o produto comercial foi diluído em água e aplicada a calda via foliar usando borrifador. Para a determinação do produto aplicado foi considerado um volume de calda de 200 L ha⁻¹.

Os tratos culturais realizados incluíram a remoção manual de plantas daninhas, o controle fitossanitário, a poda dos ramos laterais provenientes das axilas foliares, a capação e o raleio dos frutos. Além disso, a irrigação das mudas foi feita diariamente por aspersão.

Após 95 dias do transplantio das mudas, foram realizadas as avaliações de altura de parte aérea (cm), massa seca de parte aérea e radicular (g), quantidade e peso de frutos (g). A altura de parte aérea foi determinada utilizando trena graduada e medindo a distância do colo da planta até a gema apical.

Para a massa seca, foram separadas a parte radicular da parte aérea, posteriormente as amostras foram identificadas e colocadas em sacos de papel, levando-

as à estufa de secagem em temperatura de 60°C por 72 horas. Após a secagem completa, os materiais foram pesados em balança de precisão.

A avaliação da produção se deu por meio da coleta manual dos frutos por planta aos 90 dias após o transplântio, sendo os frutos por planta quantificados e pesados com o auxílio de balança digital.

Os dados coletados foram analisados utilizando o software SISVAR, submetendo-os à análise de variância (ANOVA). Os resultados que apresentaram significância, foram ajustados ao modelo de regressão a 5% de probabilidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para os parâmetros avaliados para o crescimento vegetativo de altura de planta (cm), massa seca da parte aérea e massa seca radicular (g) não apresentaram diferença significativa, conforme análise de variância. As médias obtidas para cada parâmetro em função das doses extrato de *Ascophyllum nodosum* estão apresentadas na Tabela 3. Por outro lado, as médias referentes à quantidade de frutos e ao peso de frutos por planta (g) apresentaram significância, sendo ambos ajustados ao modelo de regressão quadrático.

Esse resultado sugere que possivelmente o extrato de alga atuou mais fortemente sobre os processos fisiológicos relacionados à fase reprodutiva, como a indução floral, fixação de frutos e enchimento dos mesmos, do que no crescimento vegetativo. Assim, o produto pode ter favorecido a eficiência metabólica da planta sem necessariamente refletir em maior acúmulo de biomassa ou estatura. Por outro lado, tal resultado também pode estar relacionado com a época de aplicação do produto que foi feita mais tardiamente ao transplântio das mudas.

Tabela 3: Médias referentes à altura de planta, massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca radicular (MSPR) obtidas no ensaio: “Extrato de algas na produção do tomate cereja”. Patos de Minas (MG), 2025

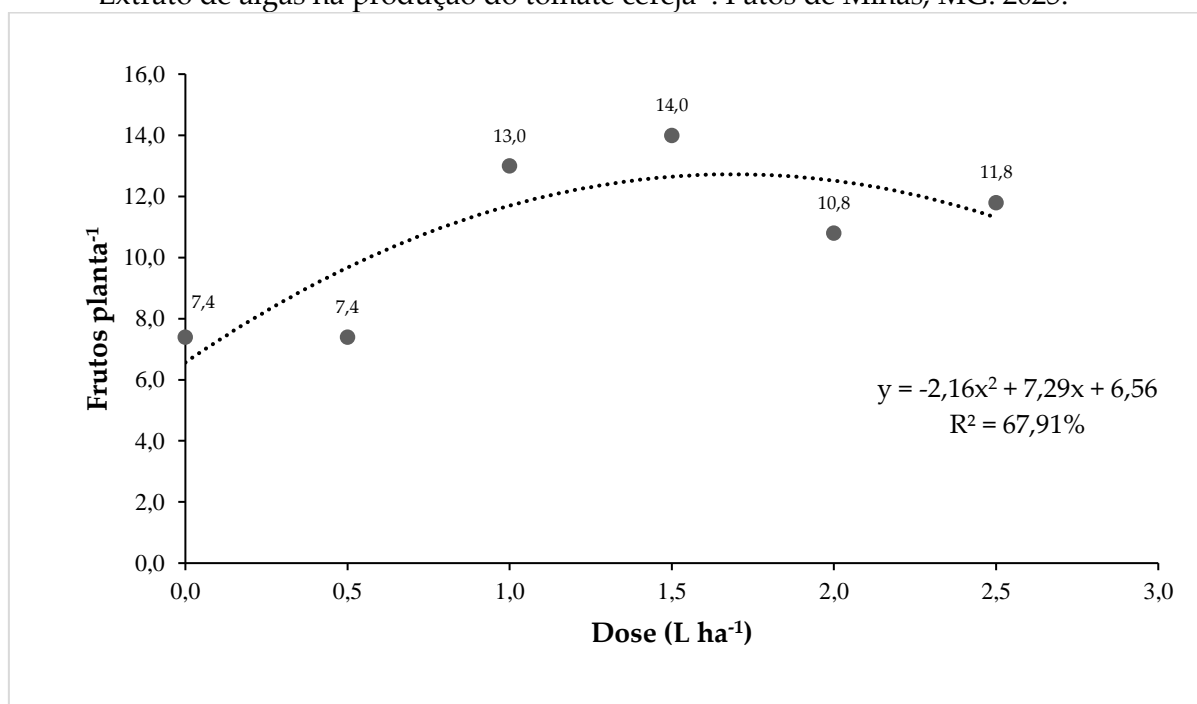
| Doses (L ha ⁻¹) | Parâmetros avaliados | | |
|-----------------------------|----------------------|----------|----------|
| | Altura (cm) | MSPA (g) | MSPR (g) |
| Controle | 78,2 | 10,1 | 4,7 |
| 0,5 | 75,2 | 7,9 | 5,0 |
| 1,0 | 80,0 | 8,6 | 4,9 |
| 1,5 | 84,4 | 8,5 | 5,8 |
| 2 | 82,6 | 8,3 | 5,4 |
| 2,5 | 79,0 | 8,5 | 4,0 |
| CV (%) | 8,5 | 21,0 | 52,3 |

Nesse sentido, no estudo de Souza *et al.* (2017) avaliando crescimento e desenvolvimento de mudas de tomate IPA 6 sob o efeito doses de fertilizante foliar a base de extrato de *Ascophyllum nodosum*, usando as doses 0; 0,3; 0,6 e 0,9 mL L⁻¹ evidenciaram que tiveram maior resultado no desenvolvimento vegetativo as mudas que foram submetidas à dose de 0,9 mL L⁻¹ aplicada a cada 7 dias. Essa concentração se

sobressaiu em todas as variáveis avaliadas, sendo elas número de folhas, altura de plântula, comprimento da raiz, diâmetro de caule e matéria seca total.

Na Figura 1, podemos observar que para a quantidade de frutos por planta em função das doses do produto comercial a base de *Ascophyllum nodosum*, o tratamento controle e o tratamento de dose 0,5 L ha⁻¹ apresentaram comportamento semelhante. Conforme o aumento da dosagem, houve o incremento no número de frutos até a dose de 1,5 L ha⁻¹ que obteve maior média. Após esse ponto, observa-se uma redução no peso dos frutos, sugerindo que doses maiores podem causar efeito inverso, possivelmente devido a um excesso do extrato que leva a algum tipo de estresse fisiológico na planta.

Figura 1. Quantidade de frutos por planta em função de doses do produto comercial a base de *Ascophyllum nodosum* no ensaio: “Extrato de algas na produção do tomate cereja”. Patos de Minas, MG. 2025.



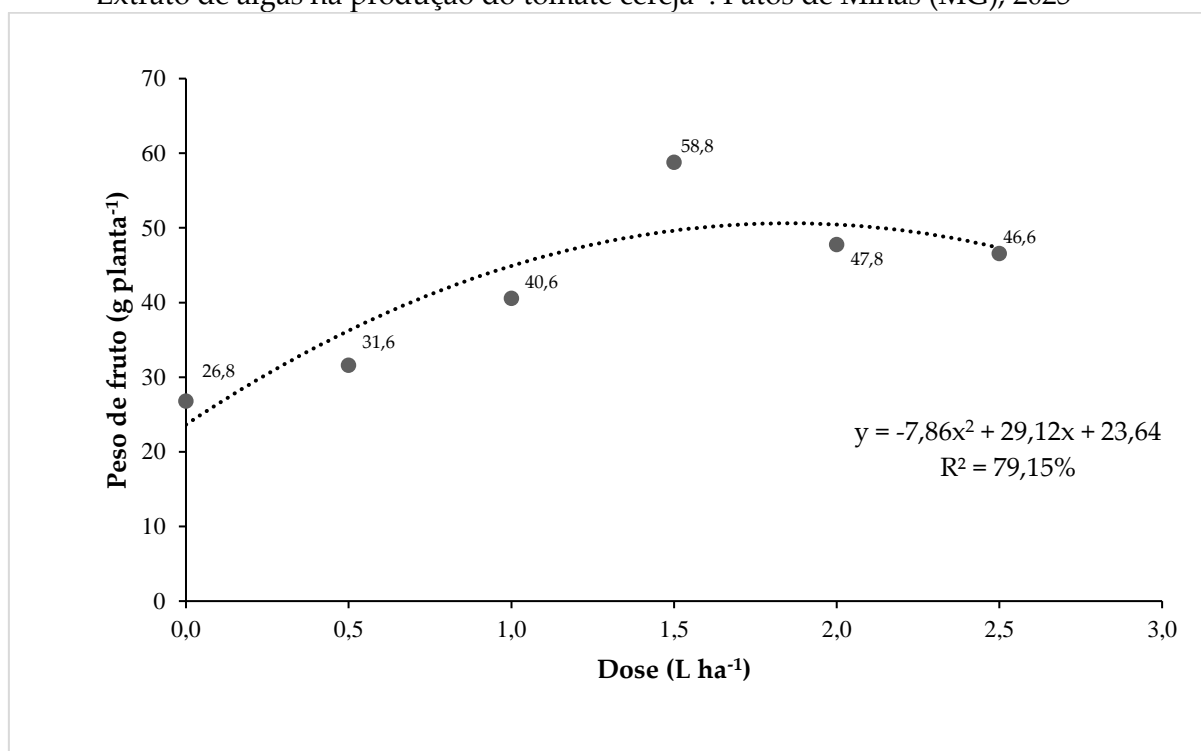
Segundo Silva *et al.* (2021), o efeito da bioativação de sementes usando *Ascophyllum nodosum* depende da concentração utilizada e da cultivar, bem como dos compostos presentes no extrato aplicado. Em seu estudo, verificaram que a bioativação de sementes de tomate nas cultivares Cereja e Rio Grande tiveram respostas diferentes em crescimento radicular e vegetativo, mas ambas foram beneficiadas na dose de 125 ppm. Além disso, evidenciaram que acima dessa concentração houve resultado inibitório nas raízes das mudas, possivelmente provocado por desequilíbrio hormonal.

Saeger *et al.* (2019), enfatiza que o extrato de *Ascophyllum nodosum* atua no equilíbrio hormonal das plantas e regula processos essenciais, como a absorção de nutrientes e a fotossíntese. Contudo, os mecanismos moleculares que estimulam o crescimento ainda precisam ser investigados, envolvendo várias funções metabólicas.

Os valores médios para o peso de frutos por planta evidenciaram comportamento muito semelhante à quantidade de frutos, em que o aumento de doses

aumentou até o ponto máximo na dose 1,5 L ha⁻¹ que novamente se sobressaiu em relação às outras doses testadas. Nesse sentido, a partir desta dose houve decréscimo nos resultados, entretanto tanto a dose de 2,0 L ha⁻¹ quanto de 2,5 L ha⁻¹ apresentou maiores médias comparadas aos tratamentos de doses 0,0; 0,5 e 1,0 L ha⁻¹. Em relação ao tratamento controle (0,0 L ha⁻¹), todos os demais tratamentos obtiveram resultado superior (Figura 2).

Figura 2.: Peso de frutos (g planta⁻¹) em função de doses do produto comercial a base de *Ascophyllum nodosum* no ensaio: “Extrato de algas na produção do tomate cereja”. Patos de Minas (MG), 2025



De acordo com Sousa *et al.* (2023), a utilização de baixas doses de extrato de alga durante o tratamento de sementes ou nas fases iniciais de desenvolvimento das plântulas têm demonstrado potencial para estimular o crescimento do sistema radicular, o que contribui para uma maior tolerância das plantas a estresses, como altas temperaturas, deficiência hídrica e salinidade.

Em literatura similar Koyama *et al.* (2012), testaram cinco combinações de doses e frequências de aplicação de extrato de alga à base de *Ascophyllum nodosum* em dois ambientes: cultivo protegido e campo. Foi verificado que a aplicação da dose de 3 mL L⁻¹ de extrato de alga, tanto em cultivo protegido quanto a campo, com intervalos de quinze dias, promoveu o aumento da produtividade, sem causar alterações nas características dos frutos ou no desenvolvimento vegetativo das plantas.

Carvalho *et al.* (2024), observando o desempenho de mudas de tomate com doses de extrato de algas a base de *Ascophyllum nodosum* concluiu que o aumento de doses que variou entre a concentração de 0 a 7% do produto utilizado, proporcionou efeito significativo para todas as variáveis avaliadas de desenvolvimento vegetativo.

Silva (2018) destaca que o uso de biofertilizantes pode gerar respostas variadas nas plantas, podendo favorecer, não influenciar ou até mesmo comprometer a absorção de nutrientes, dependendo das condições de aplicação. Nesse contexto, Carvalho e Castro (2014) ressaltam que os efeitos dos extratos de algas sobre o crescimento e a produtividade vegetal são influenciados por uma série de fatores, como a dose utilizada, o momento, o modo e a frequência de aplicação, além do tipo de extrato e do bioestimulante empregado.

Diante da variedade de fatores que podem influenciar os resultados, é necessário realizar estudos mais abrangentes, envolvendo diferentes cultivares, regiões e dosagens, com o intuito de fornecer recomendações mais precisas e confiáveis sobre o uso de extratos de algas na cultura do tomate.

4 CONCLUSÃO

Nas condições deste experimento, concluiu-se que o efeito do uso de extrato de algas a base de *Ascophyllum nodosum* na cultura do tomate cereja não interferiu nos parâmetros avaliados de altura de planta, massa seca da parte aérea e massa seca radicular. Porém, em produção, a dose de 1,5 L ha⁻¹ alcançou resultado superior quando comparada com as demais doses.

REFERÊNCIAS

- BORGES, D. O. **Aplicação de biofertilizante no tomateiro**. 2023. 18 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/37456>.
- CABESTRÉ, J. P.; GOMES, E. R. Produção de tomate cereja em resposta a aplicação de diferentes bioestimulantes. **Revista AgroFIB**, Bauru, v. 3, n. 1, p. 1–11, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.59237/agrofib.v3i1.683>.
- CARVALHO, M. E. A.; CASTRO, P. R. C. **Extratos de algas e suas aplicações na agricultura**. Piracicaba: ESALQ – Divisão de Biblioteca, 2014. 58 p.
- CARVALHO, R. S. *et al.* Desempenho de mudas de tomate com diferentes doses de extrato de algas marinhas. **Observatório de La Economía Latinoamericana**, v. 22, n. 12, p. 8186, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.55905/oelv22n12-112>.
- KOYAMA, R. *et al.* Extrato da alga *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jolis, no desenvolvimento vegetativo e na produção do tomateiro. **Revista de Ciências Agrárias**, vol. 55, n. 4, p. 282-287, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2012.067>.

MARTINS, F. B. *et al.* Classificação Climática de Köppen e de Thornthwaite para Minas Gerais: cenário atual e projeções futuras. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, 2021. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/14064>.

PANZARIN, A. L. J.; MARTINS, B. N. M. Desenvolvimento de plântulas de tomate cultivar Bartô sob o efeito de diferentes doses de extrato de algas marinhas. **Research, Society and Development**, v. 13, n. 9, p. e12213946974, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v13i9.46974>.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa: CFSEMG/UFV, 1999. 359 p.

ROSA, M. J. da; REIS, J. M. R. Uso de micorrizas no crescimento do tomateiro cereja. **Cerrado Agrociências**, v. 13, n. 1, p. 48–56, 2023. Disponível em: <https://revistas.unipam.edu.br/index.php/cerradoagrociencias/article/view/4078>

SAEGER, J. de *et al.* Toward the molecular understanding of the action mechanism of *Ascomyces nodosum* extracts on plants. **Journal of Applied Phycology**, v. 32, n. 1, p. 573–597, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s10811-019-01903-9>.

SILVA, M. B. P. da. *et al.* Biopriming of sweet pepper and tomato seeds with *Ascomyces nodosum*. **Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín**, Medellín, v. 74, n. 1, p. 9423–9430, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.15446/rfnam.v74n1.88240>.

SILVA, O. F. B. **Influência de diferentes concentrações de extratos de algas sobre o desempenho produtivo do tomate saladete**. 2018. 21 p. TCC (Graduação em Agronomia) – Centro Universitário de Anápolis – UniEvangélica, Anápolis, 2018.

SOLDATELI, F. J.; BATISTA, C. B.; GODOY, F.; MELLO, A. C.; SOARES, F. S.; BERGMANN, M. D.; ETHUR, L. Z. Crescimento e produtividade de cultivares de tomate cereja utilizando substratos de base ecológica. **Colloquium Agrariae**, v. 16, n. 1, p. 1–10, 2020. Disponível em: <https://journal.unoeste.br/index.php/ca/article/view/3136>.

SOUSA, F. G. G. *et al.* Desenvolvimento e produção do tomate cereja irrigado com diferentes concentrações e disponibilidade de água residuária. **Irriga**, v. 24, n. 3, p. 582–593. 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2019v24n3p582-593>.

SOUSA, G. M. de *et al.* Análise econômica do uso de bioestimulantes na cultura do feijão em diferentes métodos de aplicação. **Brazilian Journal of Science**, v. 2, n. 2, p. 24–31, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.14295/bjs.v2i2.249>.

SOUZA, B. G. A. *et al.* Crescimento e desenvolvimento de mudas de tomate sob efeito de extrato *Ascophyllum nodosum*. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 12, n. 4, p. 712–716, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v12i4.4932>.

STORMOWSKI, J.; BALDONI, D. B.; DRESCHER, M. S.; SILVA, D. M. da; BOHRER, R. E. G.; SOUZA, E. L. de. Efeitos da aplicação de bioestimulante à base de extrato de alga *Ascophyllum nodosum* na cultura da soja. **Observatório de la Economía Latinoamericana**, v. 22, n. 4, e4373, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.55905/oelv22n4-208>.

STURIÃO, W. P. **Efeitos fitotécnicos e anatômicos da disponibilidade de cálcio e boro em tomateiro do grupo cereja**. 2017. 153 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017. Disponível em: <http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/18695>.

WALLY, O. S. D.; CRITCHLEY, A. T.; HILTZ, D. Seaweed extracts as biostimulants for enhancing the nutrient uptake, growth and yield of crops. **Journal of Plant Nutrition**, v. 36, n. 12, 1929-1944, 2013.

Influência do sistema de cultivo integrado Lavoura- Pastagem-Floresta (ILPF) na diversidade de *Hymenoptera* (Insecta)

*Influence of the integrated Crop-Pasture-Forestry system on the diversity of
Hymenoptera (Insecta)*

NATAN BERNARDES LIMA MARQUES

Discente de Ciências Biológicas (UNIPAM)
natanbernardes@unipam.edu.br

ELISA QUEIROZ GARCIA

Professora orientadora (UNIPAM)
elisaqg@unipam.edu.br

Resumo: Este estudo investigou a diversidade de insetos da ordem *Hymenoptera* em distintos ambientes agrícolas. Foram analisadas áreas de Floresta, Lavoura, Pastagem e os sistemas integrados Lavoura-Pastagem (LP) e Lavoura-Pastagem-Floresta (LPF). O sistema de pastagem apresentou a maior diversidade de espécies, seguido do sistema LPF, enquanto o sistema LP revelou a maior abundância de indivíduos. A família Formicidae predominou nas coletas. A variação na diversidade de *Hymenoptera* foi mais influenciada pela estrutura da vegetação do que pela riqueza florística. Áreas com maior biomassa de gramíneas apresentaram maior abundância de insetos. Os resultados evidenciam o potencial dos sistemas integrados para promover a biodiversidade e sugerem que a diversidade funcional das plantas influencia a riqueza de espécies na composição da fauna de *Hymenoptera*.

Palavras-chave: Armadilha de interceptação de queda (*pitfall*); *Urochloa brizantha*; *Eucalyptus* sp.; Formicidae; *Zea mays*; plantas C4.

Abstract: This study investigated the diversity of insects of the order *Hymenoptera* in different agricultural environments. Forest, Cropland, Pasture, and the integrated Crop-Livestock (CL) and Crop-Livestock-Forest (CLF) systems were analyzed. The pasture system exhibited the highest species diversity, followed by the CLF system, whereas the CL system showed the highest abundance of individuals. The family Formicidae predominated in the samples. Variation in *Hymenoptera* diversity was more strongly influenced by vegetation structure than by floristic richness. Areas with greater grass biomass presented higher insect abundance. The results highlight the potential of integrated systems to promote biodiversity and suggest that plant functional diversity influences species richness in the composition of the *Hymenoptera* fauna.

Keywords: pitfall trap; *Urochloa brizantha*; *Eucalyptus* sp.; Formicidae; *Zea mays*; C4 plants.

1 INTRODUÇÃO

A conversão dos ecossistemas naturais em agroecossistemas modifica as interações bióticas e a disponibilidade de recursos, provocando impactos em nível local e regional. Esse fenômeno é particularmente exacerbado pela prática de monoculturas, que simplificam a cobertura vegetal do ambiente e contribuem para a degradação do solo e dos recursos naturais. Como resultado, as monoculturas aumentam a proliferação de insetos, pragas e fitopatologias comprometendo a produtividade na lavoura (Macedo, 2009).

A redução da biodiversidade vegetal em agroecossistemas reduz proporcionalmente a capacidade de autorregulação dos ecossistemas. Em monoculturas, as pragas exibem altas taxas de colonização por terem barreiras menores para encontrar o vegetal hospedeiro e alta taxa de reprodução pela diminuição da competição por alimento e ausência de inimigos naturais. Dessa forma, as monoculturas requerem intervenções humanas constantes para compensar o desequilíbrio. Algumas estratégias-chave, como a reincorporação da diversidade na paisagem agrícola, podem ajudar a manejá-la de forma mais eficiente (Gliessman, 2001; Altieri; Silva; Nicholls, 2003)

Como alternativa, o sistema de Integração Lavoura-Pastagem-Floresta (ILPF) surge como uma solução sustentável para a produção agrícola. Esse sistema busca superar os desequilíbrios impostos pelas monoculturas ao reintegrar a diversidade à paisagem agrícola. Ao associar componentes arbóreos, agrícolas e pastoris, o ILPF favorece a conservação da biodiversidade, especialmente em regiões onde as atividades agropecuárias fragmentaram fortemente a vegetação nativa (Balbino *et al.*, 2012).

A presença de inimigos naturais e polinizadores em áreas agrícolas é diretamente influenciada pela diversidade de plantas, que oferece alimentos, abrigo e microclimas favoráveis a esses insetos. Assim, práticas que incrementem a diversidade vegetal em sistemas agrícolas, como o ILPF, podem contribuir para o funcionamento saudável de processos ecológicos essenciais (Flausino, 2021).

Os insetos da ordem *Hymenoptera*, que incluem vespas, abelhas e formigas, desempenham papéis ecológicos fundamentais em agroecossistemas. Esses insetos apresentam uma grande variabilidade ecológica, atuando como polinizadores, parasitoides, formadores de galhas, comedores de sementes, nectarívoros, polívoros ou carnívoros (Teixeira, 2012). Agroecossistemas com cobertura vegetal mais complexa se beneficiam dos serviços ecológicos oferecidos por esses himenópteros, como o controle de pragas (Comério; Benassi; Perioto, 2013; Comério; Onody, Benassi, 2012).

Estudos sugerem que os insetos, especialmente os himenópteros, são amplamente utilizados em inventários agrícolas devido à facilidade de coleta e ao grande número de indivíduos presentes nesses ambientes. Além disso, sua importância ecológica é inegável, especialmente em termos de controle de pragas e polinização (Duelli; Obrist; Schmatz, 1999). Portanto, o estudo da influência do ILPF na diversidade de *Hymenoptera* pode fornecer informações cruciais sobre o potencial desse sistema em promover serviços ecossistêmicos essenciais.

Um dos desafios atuais da agricultura é identificar as melhores práticas de manejo dos agroecossistemas que estimulem a biodiversidade e favoreçam os processos ecológicos vitais para a sustentabilidade desses sistemas agrícolas. Dessa forma, estudar

como a diversidade vegetal influencia na presença de himenópteros nas áreas de cultivo integrado (Lavoura-Pastagem-Floresta) tem importância científica e econômica, ao verificar a capacidade desse sistema de recuperar a presença de espécies que oferecem serviços ecossistêmicos essenciais.

Dessa forma, o objetivo deste estudo foi avaliar se a complexidade dos sistemas de integração Lavoura-Pastagem-Floresta influencia na diversidade e abundância de insetos da ordem *Hymenoptera*. Para isso, listamos as morfoespécies de *Hymenoptera* encontradas nas áreas do sistema de Integração Lavoura- Pastagem-Floresta (ILPF) e em áreas de monocultivo. Por fim, investigamos a diversidade de *Hymenoptera* de cada área e comparamos entre os sistemas de cultivo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 LOCAL DO ESTUDO

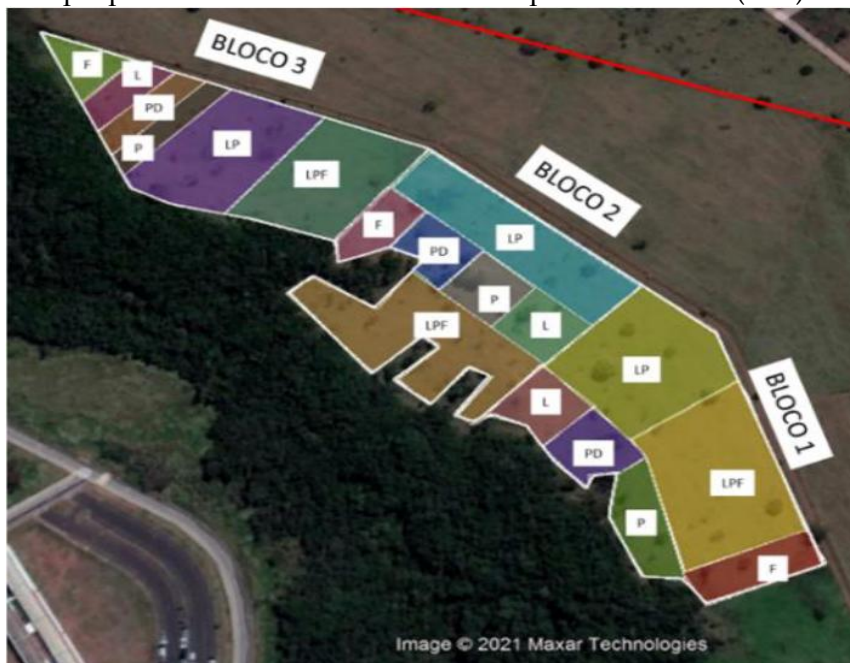
O estudo foi conduzido no Campo Experimental Oeste, gerenciado pela Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), localizado no município de Uberaba (MG), a 19° 45' 56" de latitude sul, 47° 57' de longitude oeste e altitude de 774 m. A área apresenta solos classificados como Latossolo Vermelho Distrófico, de textura franco-arenosa (Embrapa, 1999), e relevo suave, atributos característicos da região do Cerrado. O clima local é tropical semiúmido, com precipitação média anual de 1.684,6 mm e umidade relativa média de 71,4% (Fernandes; Reis; Paes, 2010).

O sistema de plantio utilizado no campo experimental é o Sistema de Integração Lavoura-Pastagem-Floresta (ILPF), implantado na área em outubro de 2021. O arranjo produtivo é composto por eucalipto (*Eucalyptus* sp.), milho (*Zea mays*) e pastagem de capim-marandu (*Urochloa brizantha*). Esse sistema foi escolhido pela sua relevância em promover práticas agrícolas sustentáveis, com potencial para aumentar a biodiversidade e a abundância de insetos benéficos, como os *Hymenoptera*, ao combinar diferentes tipos de cobertura vegetal em uma mesma área.

2.2 DELINEAMENTO

O campo experimental é composto por seis áreas de cultivo organizadas da menor para a maior complexidade estrutural, conforme o grau de complexidade vegetal: Pastagem Degradada (PD), Pastagem (P), Lavoura (L), Floresta (F), Lavoura-Pastagem (LP) e Lavoura-Pastagem-Floresta (LPF). O experimento foi estruturado em Delineamento em Blocos Casualizados (DBC), três blocos com seis tratamentos cada, totalizando 18 unidades experimentais (Figura 1). Os polígonos coloridos da Figura 1 representam as áreas contínuas dos sistemas, e as linhas brancas correspondem às estradas que delimitam e permitem o acesso às áreas experimentais.

Figura 1: Localização das áreas de Floresta (F), Lavoura (L), Pastagem(P), Pastagem-degradada (PD), Lavoura-Pastagem (LP) e Lavoura-Pastagem-Floresta (LPF) nos blocos para o monitoramento da entomofauna do Campo Experimental Oeste de propriedade da EPAMIG no município de Uberaba (MG)



Fonte: Google Earth, 2021.

2.3 AMOSTRAGEM

Para quantificar a diversidade e abundância de insetos das áreas, foram utilizados conjuntos de armadilhas por sistema de plantio (Floresta, Pastagem, Lavoura, Pastagem Degradada, Pastagem-Lavoura, Pastagem-Lavoura-Floresta) em três blocos, totalizando 18 conjuntos de armadilhas de interceptação e queda (*pitfalls*) sem atrativo (Tabela 1).

Cada conjunto foi composto por três potes plásticos (7,5 cm de diâmetro, 8 cm de profundidade), instalados a aproximadamente 30 cm de distância entre si (Figura 2). Os potes foram enterrados ao nível do solo, com a abertura para cima, e preenchidos com água até um terço de sua capacidade, acrescida de detergente neutro, utilizado para romper a tensão superficial e evitar que os espécimes permanecessem flutuando no interior do pote (Aquino; Aguiar-Menezes; Queiroz, 2006).

Sobre a abertura de cada armadilha, foi posicionada uma tampa plástica elevada a 5 cm do solo, apoiada em dois espetos de madeira, para evitar transbordamento causado pela água da chuva e reduzir queda acidental de outros artrópodes e pequenos vertebrados (Teixeira, 2012)..

A amostragem foi realizada ao longo de 66 dias, entre maio e agosto de 2022, período correspondente à estação seca. Nesse período, foram realizadas seis coletas de duração mínima de sete dias. Após cada semana de coleta, as armadilhas foram recolhidas e levadas para o Laboratório de Biologia, Zoologia e Entomologia (LaBZE) do

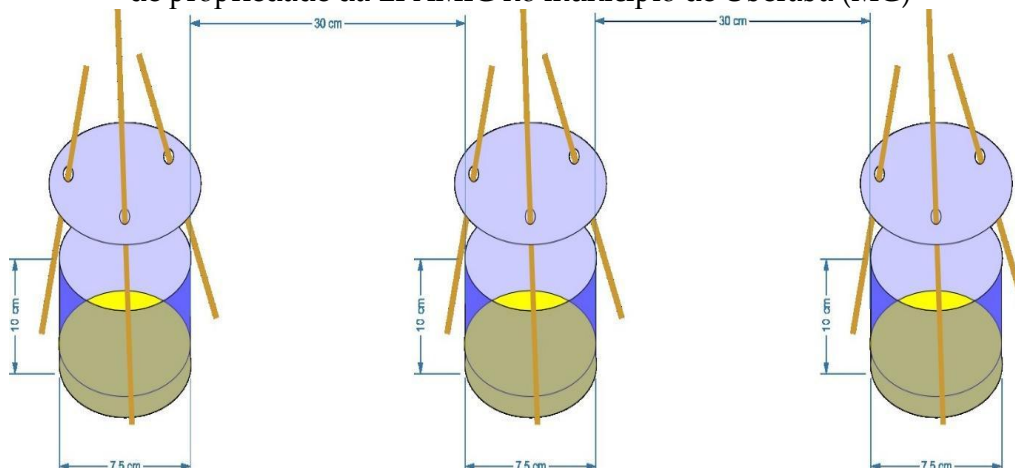
Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), onde o material foi triado, separado e identificado em placa de Petri e sob esteromicroscópio.

Inicialmente, procedeu-se à separação dos insetos em relação aos demais artrópodes presentes nas amostras. Em seguida, foram selecionados os indivíduos pertencentes à ordem *Hymenoptera*. Os himenópteros foram classificados por morfoespecificação e identificados até o menor nível taxonômico possível, predominantemente ao nível de família, com o auxílio de chaves dicotômicas disponibilizadas em Rafael *et al.* (2012), Gallo *et al.* (2002) e Baccaro *et al.* (2015).

Tabela 1: Localização dos pontos de amostragem com armadilhas de interceptação e queda (Pitfall) para o monitoramento da entomofauna edáfica do Campo Experimental Oeste de propriedade da EPAMIG no município de Uberaba (MG)

| Pontos | Localização | | Descrição |
|--------------|--------------|--------------|-------------------------------------------------|
| | Lat. | Long. | |
| Pitfall F1 | -19.70960742 | -47.95640856 | Área com Floresta - Bloco 1 |
| Pitfall F2 | -19.70709969 | -47.95829516 | Área com Floresta - Bloco 2 |
| Pitfall F3 | -19.70523457 | -47.96115004 | Área com Floresta - Bloco 3 |
| Pitfall P1 | -19.70927885 | -47.95704089 | Área com Pastagem – Bloco 1 |
| Pitfall P2 | -19.70746299 | -47.95780633 | Área com Pastagem – Bloco 2 |
| Pitfall P3 | -19.70659751 | -47.95989275 | Área com Pastagem – Bloco 3 |
| Pitfall L1 | -19.70813372 | -47.95706 | Área com Lavoura – Bloco 1 |
| Pitfall L2 | -19.70793298 | -47.95758605 | Área com Lavoura – Bloco 2 |
| Pitfall L3 | -19.7054126 | -47.96055224 | Área com Lavoura – Bloco 3 |
| Pitfall PD1 | -19.7088660 | -47.95744892 | Área com Pastagem degradada – Bloco 1 |
| Pitfall PD2 | -19.70685539 | -47.95857176 | Área com Pastagem degradada – Bloco 2 |
| Pitfall PD3 | -19.70583682 | -47.96036985 | Área com Pastagem degradada – Bloco 3 |
| Pitfall LP1 | -19.7083433 | -47.95737248 | Área com Pastagem e Lavoura – Bloco 1 |
| Pitfall LP2 | -19.70728276 | -47.95763786 | Área com Pastagem e Lavoura – Bloco 2 |
| Pitfall LP3 | -19.7064116 | 47.95936804 | Área com Pastagem e Lavoura – Bloco 3 |
| Pitfall LPF1 | -19.70910714 | -47.95669254 | Área com Pastagem, Lavoura e Floresta – Bloco 1 |
| Pitfall LPF2 | -19.70786606 | -47.95868743 | Área com Pastagem, Lavoura e Floresta – Bloco 2 |
| Pitfall LPF3 | -19.70659151 | -47.95874242 | Área com Pastagem, Lavoura e Floresta – Bloco 3 |

Figura 2: Desenho esquemático das armadilhas de interceptação e queda (Pitfall) para o monitoramento da entomofauna do Campo Experimental Oeste de propriedade da EPAMIG no município de Uberaba (MG)



2.4 ANÁLISE DOS DADOS

2.4.1 Ocorrência

As morfoespécies foram classificadas quanto à ocorrência, de acordo com Cowell (2001). As espécies “singleton” foram definidas como aquelas em que apenas um indivíduo foi coletado em uma única amostra. As espécies “doubleton” correspondem àquelas em que dois indivíduos foram coletados em uma única amostra. As espécies “únicas” referem-se às coletadas em apenas uma amostra; as espécies “duplicatas” correspondem às coletadas em duas amostras; as espécies “raras” são aquelas com abundância de 1 a 9 indivíduos; e as espécies “abundantes” são aquelas com abundância de 10 indivíduos ou mais.

2.4.2 Constância

A constância foi calculada pela razão entre o número de coletas em que a espécie ocorreu pelo número total de coletas realizadas no estudo, seguindo a proposta de Palma¹ (1975 *apud* Abreu; Nogueira, 1989). A classificação foi atribuída em: constante ($c > 50\%$); acessória ($25\% < c < 50\%$) e acidental ($c < 25\%$).

2.4.3 Dominância

A dominância foi mensurada em relação à razão entre a abundância da espécie estudada pela abundância total dos insetos coletados (Palma, 1975 *apud* Abreu;

¹ PALMA, S. Contribución de lossifonoforos encontrados frete a la costa de Valparaiso. Aspectos ecológicos. In: **II Simpósio Latinoamericano sobre Oceanografia Biológica**, Universidade D'Oriente, Venezuela, 2, p. 119-133, 1975.

Nogueira, 1989). A partir disso as espécies foram classificadas como dominante ($d > 5\%$); acessória ($2,5\% < d < 5\%$) e acidental ($d < 2,5\%$).

Ao final, as espécies foram classificadas em três categorias: comum (constante e dominante), intermediárias (constante e acessória, ou constante e acidental ou acessória e acidental) e raras (acidental e acidental) (Palma, 1975 *apud* Abreu; Nogueira, 1989).

2.4.4 Índices de diversidade

Dentre as métricas de diversidade, destacam-se a riqueza de espécies e os índices de Shannon (H') e Simpson (D'). Embora apresentem formulações distintas, a diferença central entre esses índices reside no peso atribuído às espécies raras, definidas como aquelas com abundância entre 1 e 9 indivíduos. No cálculo da riqueza, essas espécies recebem peso máximo, equivalente ao atribuído às espécies mais comuns. No índice de Shannon, o peso conferido às espécies raras é intermediário, enquanto no índice de Simpson é reduzido (Melo, 2008).

A diversidade por sistema de cultivo foi estimada mediante o índice de Shannon (H'), o índice de Simpson (D') (Cowell, 2001) e perfis de diversidade, ferramenta que integra riqueza de espécies, índices de Shannon e Simpson, além da equabilidade (J'). Os perfis de diversidade foram obtidos pela Série de Hill para cada sistema de cultivo. Todas as análises foram conduzidas no software RStudio, versão 1.3.1073 (R Core Team, 2014).

2.4.5 Análise de similaridade

Foi calculado o índice de similaridade (análise de Cluster), uma operação de agrupamento de dados que, de acordo com Schaeffer (2007), dado um determinado dataset, visa agrupar os elementos que são afins, gerando núcleos (denominados de clusters) que são utilizados para determinar semelhanças entre as áreas estudadas. Essas análises foram realizadas utilizando o programa R Studio versão 1.3.1073 (R Core Team, 2014).

3 RESULTADOS

3.1 ESPÉCIES

Foram coletados 2.476 indivíduos, distribuídos em 100 morfoespécies pertencentes à ordem *Hymenoptera*, ao longo de seis coletas realizadas entre maio e agosto de 2022 (Tabela 2). Embora parte das morfoespécies tenha sido identificada apenas ao nível de ordem ($n = 60$), devido ao estado morfológico dos espécimes, foi possível determinar quarenta morfoespécies ao nível de família, dezenove ao nível de gênero e três ao nível de espécie.

3.2 ABUNDÂNCIA

O grupo mais abundante foi a família Formicidae, com 2.346 indivíduos, representando 94,5% dos himenópteros coletados. Onze espécies foram classificadas como abundantes, conforme os critérios de Cowell (2001) (Tabela 2). A morfoespécie sp_1, pertencente ao gênero Camponotus, foi a mais representativa em todas as áreas de estudo, totalizando 1.849 indivíduos (74,7% da amostragem). Na sequência, destacaram-se sp_2, com 234 indivíduos (9,45%), e sp_32, com 106 indivíduos (4,28%).

No gráfico apresentado na Figura 3, as espécies foram ranqueadas segundo a abundância absoluta, sendo incluídas apenas aquelas com mais de um indivíduo coletado. Foi possível constatar que houve poucas espécies abundantes em detrimento de uma maioria classificada como rara (1 a 9 indivíduos).

Tabela 2: Famílias das morfoespécies ordenadas pela abundância absoluta e relativa dos insetos da ordem Hymenoptera coletadas em áreas de Floresta, Lavoura, Pastagem, Pastagem-degradada, Lavoura-Pastagem e Lavoura-Pastagem-Floresta no campo experimental da EPAMIG campo Oeste localizado em Uberaba (MG)

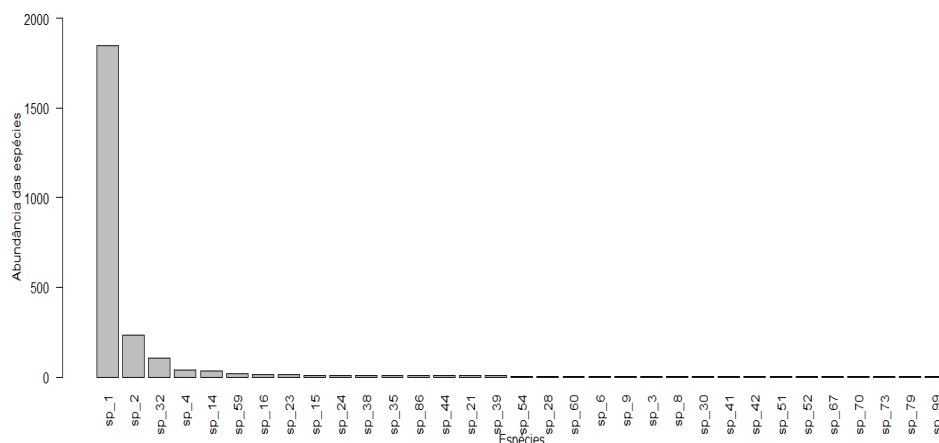
| Morfoespécie | Família | Abundância | Abundância Relativa (%) |
|--------------|------------|------------|-------------------------|
| sp_1 | Formicidae | 1849 | 74,68 |
| sp_2 | Formicidae | 234 | 9,45 |
| sp_32 | Formicidae | 106 | 4,28 |
| sp_4 | Formicidae | 38 | 1,53 |
| sp_14 | Formicidae | 34 | 1,37 |
| sp_59 | Formicidae | 20 | 0,81 |
| sp_16 | - | 13 | 0,53 |
| sp_23 | Formicidae | 11 | 0,44 |
| sp_15 | Formicidae | 10 | 0,40 |
| sp_24 | Formicidae | 10 | 0,40 |
| sp_38 | - | 10 | 0,40 |
| sp_35 | Formicidae | 9 | 0,36 |
| Sp_86 | - | 8 | 0,32 |
| sp_44 | Formicidae | 7 | 0,28 |
| sp_21 | - | 6 | 0,24 |
| sp_39 | - | 6 | 0,24 |
| sp_54 | Apidae | 5 | 0,20 |
| sp_28 | - | 4 | 0,16 |
| sp_6 | Mutillidae | 3 | 0,12 |
| sp_9 | Vespidae | 3 | 0,12 |
| sp_3 | Formicidae | 2 | 0,08 |
| sp_8 | Formicidae | 2 | 0,08 |
| sp_30 | Formicidae | 2 | 0,08 |
| sp_41 | Apidae | 2 | 0,08 |
| sp_42 | - | 2 | 0,08 |
| sp_51 | Apidae | 2 | 0,08 |
| sp_52 | Apidae | 2 | 0,08 |
| Sp_67 | - | 2 | 0,08 |

| Morfoespécie | Família | Abundância | Abundância Relativa (%) |
|--------------|-------------|------------|-------------------------|
| Sp_70 | - | 2 | 0,08 |
| Sp_73 | - | 2 | 0,08 |
| Sp_79 | - | 2 | 0,08 |
| Sp_99 | - | 2 | 0,08 |
| sp_5 | Mutillidae | 1 | 0,04 |
| sp_7 | Formicidae | 1 | 0,04 |
| sp_10 | - | 1 | 0,04 |
| sp_11 | Eurytomidae | 1 | 0,04 |
| sp_12 | - | 1 | 0,04 |
| sp_13 | - | 1 | 0,04 |
| sp_17 | - | 1 | 0,04 |
| sp_18 | - | 1 | 0,04 |
| sp_19 | - | 1 | 0,04 |
| sp_20 | - | 1 | 0,04 |
| sp_22 | - | 1 | 0,04 |
| sp_25 | - | 1 | 0,04 |
| sp_26 | Formicidae | 1 | 0,04 |
| sp_27 | - | 1 | 0,04 |
| sp_29 | Apidae | 1 | 0,04 |
| Sp_31 | - | 1 | 0,04 |
| sp_33 | Mutillidae | 1 | 0,04 |
| sp_34 | - | 1 | 0,04 |
| sp_36 | - | 1 | 0,04 |
| sp_37 | - | 1 | 0,04 |
| sp_40 | - | 1 | 0,04 |
| sp_43 | - | 1 | 0,04 |
| sp_45 | - | 1 | 0,04 |
| sp_46 | - | 1 | 0,04 |
| sp_47 | - | 1 | 0,04 |
| sp_48 | - | 1 | 0,04 |
| sp_49 | Formicidae | 1 | 0,04 |
| sp_50 | - | 1 | 0,04 |
| sp_53 | - | 1 | 0,04 |
| sp_55 | - | 1 | 0,04 |
| sp_56 | - | 1 | 0,04 |
| sp_57 | - | 1 | 0,04 |
| sp_58 | - | 1 | 0,04 |
| sp_60 | - | 1 | 0,04 |
| sp_61 | Apidae | 1 | 0,04 |
| sp_62 | - | 1 | 0,04 |
| sp_63 | - | 1 | 0,04 |
| Sp_64 | - | 1 | 0,04 |
| Sp_65 | - | 1 | 0,04 |
| Sp_66 | - | 1 | 0,04 |
| Sp_68 | - | 1 | 0,04 |
| Sp_69 | Formicidae | 1 | 0,04 |

INFLUÊNCIA DO SISTEMA DE CULTIVO INTEGRADO LAVOURA- PASTAGEM-FLORESTA (ILPF)
NA DIVERSIDADE DE HYMENOPTERA (INSECTA)

| Morfoespécie | Família | Abundância | Abundância Relativa (%) |
|--------------|------------|-------------|-------------------------|
| Sp_71 | Formicidae | 1 | 0,04 |
| Sp_72 | - | 1 | 0,04 |
| Sp_74 | - | 1 | 0,04 |
| Sp_75 | - | 1 | 0,04 |
| Sp_76 | - | 1 | 0,04 |
| Sp_77 | - | 1 | 0,04 |
| Sp_78 | - | 1 | 0,04 |
| Sp_80 | - | 1 | 0,04 |
| Sp_81 | - | 1 | 0,04 |
| Sp_82 | - | 1 | 0,04 |
| Sp_83 | Halictidae | 1 | 0,04 |
| Sp_84 | - | 1 | 0,04 |
| Sp_85 | Drynidae | 1 | 0,04 |
| sp_87 | - | 1 | 0,04 |
| Sp_88 | - | 1 | 0,04 |
| Sp_89 | - | 1 | 0,04 |
| Sp_90 | - | 1 | 0,04 |
| Sp_91 | Formicidae | 1 | 0,04 |
| Sp_92 | - | 1 | 0,04 |
| Sp_93 | - | 1 | 0,04 |
| Sp_94 | Formicidae | 1 | 0,04 |
| Sp_95 | Formicidae | 1 | 0,04 |
| Sp_96 | - | 1 | 0,04 |
| Sp_97 | - | 1 | 0,04 |
| Sp_98 | - | 1 | 0,04 |
| Sp_100 | - | 1 | 0,04 |
| Total | | 2476 | 100 |

Figura 3: Diagrama rank abundância apresenta as principais morfoespécies (riqueza) pelo número de indivíduos (abundância) coletadas entre os períodos de maio a agosto de em áreas de Floresta, Lavoura, Pastagem, Pastagem-degradada, Lavoura-Pastagem e integração Lavoura-pastagem-Floresta no campo experimental da EPAMIG



campo Oeste localizado em Uberaba (MG)

3.3 OCORRÊNCIA DAS ESPÉCIES

Foram catalogadas 68 morfoespécies que estão representadas apenas por um indivíduo, as “singletons”, e 12 por dois indivíduos, as “doubleton”. Setenta e três das morfoespécies foram coletadas em apenas uma amostra (únicas), 12 em duas amostras (duplicatas) e 15 espécies ocorreram em 3 amostras ou mais. Oitenta e nove morfoespécies foram classificadas como raras (1-9 indivíduos) e 11 como abundantes; destas últimas, apenas duas não pertencem à família Formicidae (Tabela 3).

Tabela 3: Classificação quanto à ocorrência, segundo Cowell (2001), das morfoespécies da ordem Hymenoptera coletadas entre áreas de Floresta, Lavoura, Pastagem, Pastagem-degradada, Lavoura-Pastagem e integração Lavoura-pastagem-Floresta no campo experimental da EPAMIG campo Oeste localizado em Uberaba (MG).

N = número de indivíduos; S = “singleton”; Do = “doubleton”; U = únicas; Du = duplicatas; R = raras; A = abundantes.

| Morfoespécie | Família | N | S | Do | U | Du | R | A |
|--------------|------------|------|---|----|---|----|---|---|
| sp_1 | Formicidae | 1849 | | | | | | X |
| sp_2 | Formicidae | 234 | | | | | | X |
| sp_3 | Formicidae | 2 | | X | | X | X | |
| sp_4 | Formicidae | 38 | | | | | | X |
| sp_5 | Formicidae | 1 | X | | X | | X | |
| sp_6 | Formicidae | 3 | | | | | X | |
| sp_7 | - | 1 | X | | X | | X | |
| sp_8 | Formicidae | 2 | | X | | X | X | |
| sp_9 | Formicidae | 3 | | | | X | X | |
| sp_10 | Formicidae | 1 | X | | X | | X | |

INFLUÊNCIA DO SISTEMA DE CULTIVO INTEGRADO LAVOURA- PASTAGEM-FLORESTA (ILPF)
NA DIVERSIDADE DE HYMENOPTERA (INSECTA)

| Morfoespécie | Família | N | S | Do | U | Du | R | A |
|--------------|-------------|-----|---|----|---|----|---|---|
| sp_11 | - | 1 | X | | X | | X | |
| sp_12 | Formicidae | 1 | X | | X | | X | |
| sp_13 | - | 1 | X | | X | | X | |
| sp_14 | Formicidae | 34 | | | | | | X |
| sp_15 | - | 10 | | | | | | X |
| sp_16 | - | 13 | | | | | | X |
| sp_17 | Apidae | 1 | X | | X | | X | |
| sp_18 | - | 1 | X | | X | | X | |
| sp_19 | Mutillidae | 1 | X | | X | | X | |
| sp_20 | Vespidae | 1 | X | | X | | X | |
| sp_21 | Formicidae | 6 | | | | | X | |
| sp_22 | Formicidae | 1 | X | | X | | X | |
| sp_23 | Formicidae | 11 | | | | | | X |
| sp_24 | Apidae | 10 | | | | X | | X |
| sp_25 | - | 1 | X | | X | | X | |
| sp_26 | Apidae | 1 | X | | X | | X | |
| sp_27 | Apidae | 1 | X | | X | | X | |
| sp_28 | - | 4 | | | | | X | |
| sp_29 | - | 1 | X | | X | | X | |
| sp_30 | - | 2 | | X | | X | X | |
| Sp_31 | - | 1 | X | | X | | X | |
| sp_32 | - | 106 | | | | | | X |
| sp_33 | Mutillidae | 1 | X | | X | | X | |
| sp_34 | Formicidae | 1 | X | | X | | X | |
| sp_35 | - | 9 | | | | | X | |
| sp_36 | Eurytomidae | 1 | X | | X | | X | |
| sp_37 | - | 1 | X | | X | | X | |
| sp_38 | - | 10 | | | | | | X |
| sp_39 | - | 6 | | | | | X | |
| sp_40 | - | 1 | X | | X | | X | |
| sp_41 | - | 2 | | X | X | | X | |
| sp_42 | - | 2 | | X | | X | X | |
| sp_43 | - | 1 | X | | X | | X | |
| sp_44 | - | 7 | | | | | X | |
| sp_45 | Formicidae | 1 | X | | X | | X | |
| sp_46 | - | 1 | X | | X | | X | |
| sp_47 | Apidae | 1 | X | | X | | X | |
| sp_48 | - | 1 | X | | X | | X | |
| sp_49 | Mutillidae | 1 | X | | X | | X | |
| sp_50 | - | 1 | X | | X | | X | |
| sp_51 | - | 2 | | X | | | X | |
| sp_52 | - | 2 | | X | | X | X | |
| sp_53 | - | 1 | X | | X | | X | |
| sp_54 | - | 5 | | | | X | X | |
| sp_55 | - | 1 | X | | X | | X | |
| sp_56 | - | 1 | X | | X | | X | |
| sp_57 | - | 1 | X | | X | | X | |
| sp_58 | - | 1 | X | | X | | X | |

| Morfoespécie | Família | N | S | Do | U | Du | R | A |
|--------------|------------|----|---|----|---|----|---|---|
| sp_59 | Formicidae | 20 | | | | X | | X |
| sp_60 | - | 1 | X | | X | | X | |
| sp_61 | - | 1 | X | | X | | X | |
| sp_62 | - | 1 | X | | X | | X | |
| sp_63 | - | 1 | X | | X | | X | |
| Sp_64 | - | 1 | X | | X | | X | |
| Sp_65 | - | 1 | X | | X | | X | |
| Sp_66 | - | 1 | X | | X | | X | |
| Sp_67 | Apidae | 2 | | X | | X | X | |
| Sp_68 | - | 1 | X | | X | | X | |
| Sp_69 | - | 1 | X | | X | | X | |
| Sp_70 | - | 2 | | X | X | | X | |
| Sp_71 | - | 1 | X | | X | | X | |
| Sp_72 | - | 1 | X | | X | | X | |
| Sp_73 | - | 2 | | X | X | | X | |
| Sp_74 | Formicidae | 1 | X | | X | | X | |
| Sp_75 | Formicidae | 1 | X | | X | | X | |
| Sp_76 | - | 1 | X | | X | | X | |
| Sp_77 | - | 1 | X | | X | | X | |
| Sp_78 | - | 1 | X | | X | | X | |
| Sp_79 | - | 2 | | X | X | | X | |
| Sp_80 | - | 1 | X | | X | | X | |
| Sp_81 | - | 1 | X | | X | | X | |
| Sp_82 | - | 1 | X | | X | | X | |
| Sp_83 | - | 1 | X | | X | | X | |
| Sp_84 | - | 1 | X | | X | | X | |
| Sp_85 | Halictidae | 1 | X | | X | | X | |
| Sp_86 | - | 8 | | | | | X | |
| sp_87 | Drynidae | 1 | X | | X | | X | |
| Sp_88 | - | 1 | X | | X | | X | |
| Sp_89 | - | 1 | X | | X | | X | |
| Sp_90 | - | 1 | X | | X | | X | |
| Sp_91 | - | 1 | X | | X | | X | |
| Sp_92 | Formicidae | 1 | X | | X | | X | |
| Sp_93 | - | 1 | X | | X | | X | |
| Sp_94 | - | 1 | X | | X | | X | |
| Sp_95 | Formicidae | 1 | X | | X | | X | |
| Sp_96 | Formicidae | 1 | X | | X | | X | |
| Sp_97 | - | 1 | X | | X | | X | |
| Sp_98 | - | 1 | X | | X | | X | |
| Sp_99 | - | 2 | | X | | X | X | |
| Sp_100 | - | 1 | X | | X | | X | |

3.4 CLASSIFICAÇÃO DAS ESPÉCIES: CONSTÂNCIA E DOMINÂNCIA

Para a classificação de constância, a maioria das espécies apresentou a constância accidental; 76%, 15 espécies foram classificadas como acessórias e nove como constantes. Já para a classificação dominância, 97% das espécies foram classificadas como accidentais, duas como dominantes (sp_1 e sp_2) e apenas uma como acessória (sp_32). Agrupando as duas classificações, conforme Palma (1975), 76 espécies foram classificadas como raras, 22 como intermediárias e duas como comuns (Tabela 4).

Tabela 4: Constância e dominância das morfoespécies coletadas entre os períodos de maio a agosto de em áreas de Floresta, Lavoura, Pastagem, Pastagem-degradada, Lavoura-Pastagem e integração Lavoura-pastagem-Floresta no campo experimental da EPAMIG campo Oeste localizado em Uberaba (MG), segundo a definição proposta por Palma (1975)

| Morfoespécie | Família | Ab. ab. * | Constância (%) | | Dominância (%) | | Classificação |
|--------------|------------|-----------|----------------|------------|----------------|------------|---------------|
| sp_1 | Formicidae | 1849 | 100,0 | Constante | 74,68 | Dominante | Comum |
| sp_2 | Formicidae | 234 | 100,0 | Constante | 9,45 | Dominante | Comum |
| sp_3 | Formicidae | 2 | 33,3 | Acessória | 0,08 | Accidental | Intermediária |
| sp_4 | Formicidae | 38 | 66,7 | Constante | 1,53 | Accidental | Intermediária |
| sp_5 | Formicidae | 1 | 16,7 | Accidental | 0,04 | Accidental | Rara |
| sp_6 | Formicidae | 3 | 16,7 | Accidental | 0,12 | Accidental | Rara |
| sp_7 | - | 1 | 16,7 | Accidental | 0,04 | Accidental | Rara |
| sp_8 | Formicidae | 2 | 33,3 | Acessória | 0,08 | Accidental | Intermediária |
| sp_9 | Formicidae | 3 | 16,7 | Accidental | 0,12 | Accidental | Rara |
| sp_10 | Formicidae | 1 | 16,7 | Accidental | 0,04 | Accidental | Rara |
| sp_11 | - | 1 | 16,7 | Accidental | 0,04 | Accidental | Rara |
| sp_12 | Formicidae | 1 | 16,7 | Accidental | 0,04 | Accidental | Rara |
| sp_13 | - | 1 | 16,7 | Accidental | 0,04 | Accidental | Rara |
| sp_14 | Formicidae | 34 | 83,3 | Constante | 1,37 | Accidental | Intermediária |
| sp_15 | - | 10 | 66,7 | Constante | 0,40 | Accidental | Intermediária |
| sp_16 | - | 13 | 66,7 | Constante | 0,53 | Accidental | Intermediária |
| sp_17 | Apidae | 1 | 16,7 | Accidental | 0,04 | Accidental | Rara |
| sp_18 | - | 1 | 16,7 | Accidental | 0,04 | Accidental | Rara |
| sp_19 | Mutillidae | 1 | 16,7 | Accidental | 0,04 | Accidental | Rara |
| sp_20 | Vespidae | 1 | 16,7 | Accidental | 0,04 | Accidental | Rara |
| sp_21 | Formicidae | 6 | 33,3 | Acessória | 0,24 | Accidental | Intermediária |
| sp_22 | Formicidae | 1 | 16,7 | Accidental | 0,04 | Accidental | Rara |
| sp_23 | Formicidae | 11 | 33,3 | Acessória | 0,44 | Accidental | Intermediária |
| sp_24 | Apidae | 10 | 33,3 | Acessória | 0,40 | Accidental | Intermediária |
| sp_25 | - | 1 | 16,7 | Accidental | 0,04 | Accidental | Rara |
| sp_26 | Apidae | 1 | 16,7 | Accidental | 0,04 | Accidental | Rara |
| sp_27 | Apidae | 1 | 16,7 | Accidental | 0,04 | Accidental | Rara |
| sp_28 | - | 4 | 66,7 | Constante | 0,16 | Accidental | Intermediária |
| sp_29 | - | 1 | 16,7 | Accidental | 0,04 | Accidental | Rara |
| sp_30 | - | 2 | 16,7 | Accidental | 0,08 | Accidental | Rara |
| Sp_31 | - | 1 | 16,7 | Accidental | 0,04 | Accidental | Rara |
| sp_32 | - | 106 | 50,0 | Acessória | 4,28 | Acessória | Intermediária |

| Morfoespécie | Família | Ab. ab. * | Constância (%) | | Dominância (%) | | Classificação |
|--------------|-----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|---------------|
| sp_33 | Mutillidae | 1 | 16,7 | Acidental | 0,04 | Acidental | Rara |
| sp_34 | Formicidae | 1 | 16,7 | Acidental | 0,04 | Acidental | Rara |
| sp_35 | - | 9 | 66,7 | Constante | 0,36 | Acidental | Intermediária |
| sp_36 | Eurytomida e | 1 | 16,7 | Acidental | 0,04 | Acidental | Rara |
| sp_37 | - | 1 | 16,7 | Acidental | 0,04 | Acidental | Rara |
| sp_38 | - | 10 | 66,7 | Constante | 0,40 | Acidental | Intermediária |
| sp_39 | - | 6 | 50,0 | Acessória | 0,24 | Acidental | Intermediária |
| sp_40 | - | 1 | 16,7 | Acidental | 0,04 | Acidental | Rara |
| sp_41 | - | 2 | 16,7 | Acidental | 0,08 | Acidental | Rara |
| sp_42 | - | 2 | 33,3 | Acessória | 0,08 | Acidental | Intermediária |
| sp_43 | - | 1 | 16,7 | Acidental | 0,04 | Acidental | Rara |
| sp_44 | - | 7 | 33,3 | Acessória | 0,28 | Acidental | Intermediária |
| sp_45 | Formicidae | 1 | 16,7 | Acidental | 0,04 | Acidental | Rara |
| sp_46 | - | 1 | 16,7 | Acidental | 0,04 | Acidental | Rara |
| sp_47 | Apidae | 1 | 16,7 | Acidental | 0,04 | Acidental | Rara |
| sp_48 | - | 1 | 16,7 | Acidental | 0,04 | Acidental | Rara |
| sp_49 | Mutillidae | 1 | 16,7 | Acidental | 0,04 | Acidental | Rara |
| sp_50 | - | 1 | 16,7 | Acidental | 0,04 | Acidental | Rara |
| sp_51 | - | 2 | 16,7 | Acidental | 0,08 | Acidental | Rara |
| sp_52 | - | 2 | 33,3 | Acessória | 0,08 | Acidental | Intermediária |
| sp_53 | - | 1 | 16,7 | Acidental | 0,04 | Acidental | Rara |
| sp_54 | - | 5 | 16,7 | Acidental | 0,20 | Acidental | Rara |
| sp_55 | - | 1 | 16,7 | Acidental | 0,04 | Acidental | Rara |
| sp_56 | - | 1 | 16,7 | Acidental | 0,04 | Acidental | Rara |
| sp_57 | - | 1 | 16,7 | Acidental | 0,04 | Acidental | Rara |
| sp_58 | - | 1 | 16,7 | Acidental | 0,04 | Acidental | Rara |
| sp_59 | Formicidae | 20 | 33,3 | Acessória | 0,81 | Acidental | Intermediária |
| sp_60 | - | 1 | 33,3 | Acessória | 0,04 | Acidental | Intermediária |
| sp_61 | - | 1 | 16,7 | Acidental | 0,04 | Acidental | Rara |
| sp_62 | - | 1 | 16,7 | Acidental | 0,04 | Acidental | Rara |
| sp_63 | - | 1 | 16,7 | Acidental | 0,04 | Acidental | Rara |
| Sp_64 | - | 1 | 16,7 | Acidental | 0,04 | Acidental | Rara |
| Sp_65 | - | 1 | 16,7 | Acidental | 0,04 | Acidental | Rara |
| Sp_66 | - | 1 | 16,7 | Acidental | 0,04 | Acidental | Rara |
| Sp_67 | Apidae | 2 | 33,3 | Acessória | 0,08 | Acidental | Intermediária |
| Sp_68 | - | 1 | 16,7 | Acidental | 0,04 | Acidental | Rara |
| Sp_69 | - | 1 | 16,7 | Acidental | 0,04 | Acidental | Rara |
| Sp_70 | - | 2 | 16,7 | Acidental | 0,08 | Acidental | Rara |
| Sp_71 | - | 1 | 16,7 | Acidental | 0,04 | Acidental | Rara |
| Sp_72 | - | 1 | 16,7 | Acidental | 0,04 | Acidental | Rara |
| Sp_73 | - | 2 | 16,7 | Acidental | 0,08 | Acidental | Rara |
| Sp_74 | Formicidae | 1 | 16,7 | Acidental | 0,04 | Acidental | Rara |
| Sp_75 | Formicidae | 1 | 16,7 | Acidental | 0,04 | Acidental | Rara |
| Sp_76 | - | 1 | 16,7 | Acidental | 0,04 | Acidental | Rara |
| Sp_77 | - | 1 | 16,7 | Acidental | 0,04 | Acidental | Rara |
| Sp_78 | - | 1 | 16,7 | Acidental | 0,04 | Acidental | Rara |
| Sp_79 | - | 2 | 16,7 | Acidental | 0,08 | Acidental | Rara |

INFLUÊNCIA DO SISTEMA DE CULTIVO INTEGRADO LAVOURA- PASTAGEM-FLORESTA (ILPF)
NA DIVERSIDADE DE HYMENOPTERA (INSECTA)

| Morfoespécie | Família | Ab. ab. * | Constância (%) | | Dominância (%) | | Classificação |
|--------------|------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|---------------|
| Sp_80 | - | 1 | 16,7 | Acidental | 0,04 | Acidental | Rara |
| Sp_81 | - | 1 | 16,7 | Acidental | 0,04 | Acidental | Rara |
| Sp_82 | - | 1 | 16,7 | Acidental | 0,04 | Acidental | Rara |
| Sp_83 | - | 1 | 16,7 | Acidental | 0,04 | Acidental | Rara |
| Sp_84 | - | 1 | 16,7 | Acidental | 0,04 | Acidental | Rara |
| Sp_85 | Halictidae | 1 | 16,7 | Acidental | 0,04 | Acidental | Rara |
| Sp_86 | - | 8 | 33,3 | Acessória | 0,32 | Acidental | Intermediária |
| sp_87 | Drynidae | 1 | 16,7 | Acidental | 0,04 | Acidental | Rara |
| Sp_88 | - | 1 | 16,7 | Acidental | 0,04 | Acidental | Rara |
| Sp_89 | - | 1 | 16,7 | Acidental | 0,04 | Acidental | Rara |
| Sp_90 | - | 1 | 16,7 | Acidental | 0,04 | Acidental | Rara |
| Sp_91 | - | 1 | 16,7 | Acidental | 0,04 | Acidental | Rara |
| Sp_92 | Formicidae | 1 | 16,7 | Acidental | 0,04 | Acidental | Rara |
| Sp_93 | - | 1 | 16,7 | Acidental | 0,04 | Acidental | Rara |
| Sp_94 | - | 1 | 16,7 | Acidental | 0,04 | Acidental | Rara |
| Sp_95 | Formicidae | 1 | 16,7 | Acidental | 0,04 | Acidental | Rara |
| Sp_96 | Formicidae | 1 | 16,7 | Acidental | 0,04 | Acidental | Rara |
| Sp_97 | - | 1 | 16,7 | Acidental | 0,04 | Acidental | Rara |
| Sp_98 | - | 1 | 16,7 | Acidental | 0,04 | Acidental | Rara |
| Sp_99 | - | 2 | 33,3 | Acessória | 0,08 | Acidental | Intermediária |
| Sp_100 | - | 1 | 16,7 | Acidental | 0,04 | Acidental | Rara |

*Ab. Ab. — Abundância absoluta.

3.5 ÍNDICES DE DIVERSIDADE

Os sistemas que apresentaram maior riqueza de espécies foram Lavoura-Pastagem-Floresta, seguida das áreas de Pastagem, com 37 e 33 espécies coletadas, respectivamente. Essas mesmas áreas apresentaram os maiores índices de diversidade tanto para o valor de Shannon quanto para Simpson (Tabela 5).

Tabela 5: Valores dos índices de diversidade de Shannon (H') e de Simpson (D') para as morfoespécies coletadas nos sistemas de cultivos de Floresta, Lavoura, Pastagem, Pastagem-degradada, Lavoura-Pastagem e integração Lavoura-Pastagem-Floresta no campo experimental da EPAMIG campo Oeste localizado em Uberaba (MG).

S = Riqueza de espécies; N = Abundância total de indivíduos.

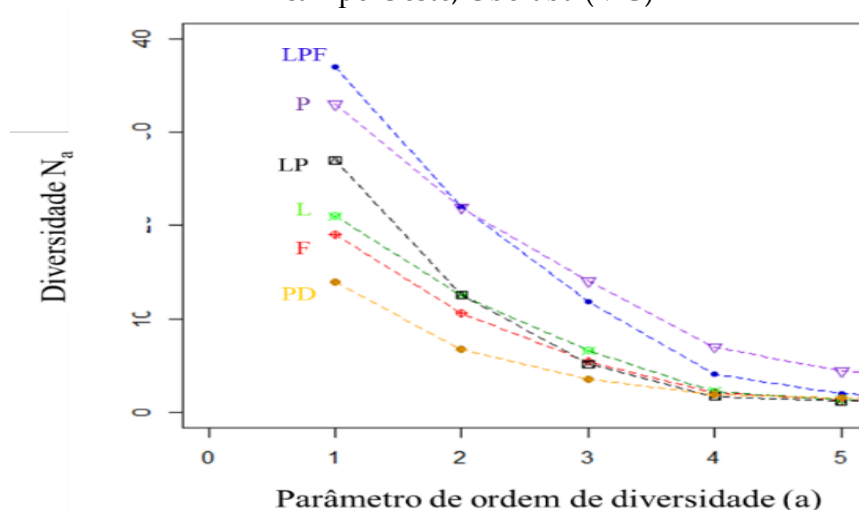
| Sistema | S | N | H' | D' |
|---------------------------|----|-----|------|------|
| Floresta | 19 | 277 | 0,73 | 0,26 |
| Pastagem | 33 | 322 | 1,95 | 0,77 |
| Lavoura | 21 | 195 | 0,82 | 0,27 |
| Pastagem-degradada | 14 | 475 | 0,66 | 0,34 |
| Lavoura-Pastagem | 27 | 692 | 0,53 | 0,17 |
| Lavoura-Pastagem-Floresta | 37 | 520 | 1,40 | 0,49 |

Os perfis de diversidade foram feitos usando a Série de Hill (Figura 4). Para o parâmetro $a = 0$, o valor de diversidade é igual ao número de espécies na amostra. Para

a tendendo a 1, o valor de diversidade é equivalente ao Índice de Shannon (base neperiana) e pode ser obtido por $e(N1)$, em que $e = 2,718282$. Para $a = 2$, o valor é igual ao obtido com o inverso do Índice de Simpson ($1/D$). Os valores que tendem ao infinito positivo se aproximam da equitabilidade dos sistemas avaliados.

Para que uma área seja efetivamente mais diversa que outra, esperaríamos que para uma delas tanto o valor da riqueza de espécies quanto o da equitabilidade fossem maiores. Nesse sentido, poderíamos considerar que a diversidade das áreas de LPF (curva azul) e de Pastagem (curva lilás) (Figura 4), possivelmente, são áreas mais diversas que as outras, quando comparamos as duas extremidades da curva. Entretanto, ao compararmos especificamente as curvas dessas duas áreas, observamos que, embora o sistema de Pastagem exiba maior equitabilidade, a riqueza de espécies é superior no sistema LPF.

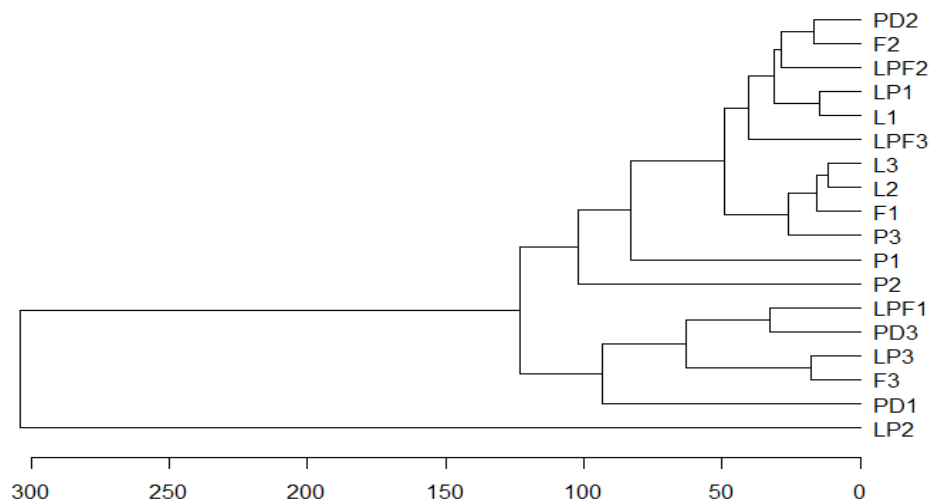
Figura 4: Perfis de diversidade para amostras de coletas nos sistemas de cultivos de Floresta (F), Lavoura (L), Pastagem (P), Pastagem-degradada (PD), Lavoura-Pastagem (LP), Lavoura-Pastagem-Floresta (LPF) no campo experimental da EPAMIG campo Oeste, Uberaba (MG)



3.6 SIMILARIDADE

A análise de agrupamento foi realizada por meio de um dendrograma (Figura 5), no qual se observa que a maior parte das áreas apresentou correlação superior a 95%. As exceções foram as áreas Pastagem 1 e Pastagem 2, LP1 e Pastagem-degradada 1.

Figura 5: Agrupamento de cluster feito usando a distância euclidiana tendo como parâmetro a abundância das espécies coletadas nas unidades amostrais dos sistemas de cultivos de Floresta (F), Lavoura (L), Pastagem (P), Pastagem-degradada (PD), Lavoura-Pastagem (LP), Lavoura-pastagem-Floresta (LPF) no campo experimental da EPAMIG campo Oeste, Uberaba (MG). Índice de correlação cofenética: 0.91



4 DISCUSSÃO

A amostragem realizada ao longo de 66 dias permitiu a coleta de 2.476 insetos da ordem *Hymenoptera*, distribuídos em 100 morfoespécies. Entre essas, a Família Formicidae foi a mais abundante, corroborando achados de outros estudos (Cunha Neto *et al.*, 2012; Moço *et al.*, 2005; Silva; Jucksch; Tavares, 2012). As formigas, por sua presença constante e elevada biomassa nos ecossistemas tropicais, representam um dos grupos mais comuns em levantamentos de artrópodes epigeicos (Holldobler; Wilson, 1990). Além disso, seus variados hábitos alimentares e a ampla diversidade de comportamentos de forrageamento contribuem para a elevada taxa de captura registrada em estudos de monitoramento edáfico (Carvalho *et al.*, 2021).

Dentro da Família Formicidae, os gêneros *Camponotus* (Formicinae) e *Pheidole* (Myrmicinae) se destacaram em abundância, o que era esperado devido à sua ampla distribuição na região Neotropical (Majer; Delabie, 1994). O gênero *Camponotus*, com mais de mil espécies descritas, é o maior gênero de formigas e ocorre em todos os estados brasileiros, com espécies onívoras que nidificam tanto no solo, quanto em troncos e copas de árvores. *Pheidole*, por sua vez, é cosmopolita, possui hábitos oportunistas e tem papel ecológico importante, como dispersão de sementes e controle de populações de artrópodes (Baccaro *et al.*, 2015).

Em agroecossistemas com maior aporte de elementos florestais, a diversidade de formigas contribui com serviços ambientais importantes. Esses insetos nidificam e forrageiam na interface solo-serrapilheira, desempenhando importância funcional para a saúde do solo agrícola. A associação entre formigas e desfolhamento de plantas é, em geral, uma exceção, sendo comum apenas em alguns gêneros da tribo Attini, conhecidos como formigas cortadeiras (Queiroz; Almeida; Pereira, 2006). Em alguns casos, essas formigas podem até beneficiar o solo. Por exemplo, *Atta sexdens*, uma espécie comum na

Amazônia, foi associada ao aumento da porosidade do solo e à diminuição da resistência à penetração das raízes, promovendo maior disponibilidade de nutrientes a nove espécies de plantas (Moutinho; Nepstad; Davidson, 2003).

As formigas também desempenham papel relevante como predadoras de insetos herbívoros. Seus comportamentos de forrageamento são amplamente variados e incluem a coleta de néctar proveniente de nectários extraflorais ou disponibilizado por hemípteros por meio de exsudatos açucarados. Muitas espécies apresentam hábitos predatórios especializados, consumindo artrópodes vivos ou mortos. Em razão dessa versatilidade trófica e da eficiência na exploração do ambiente, formigas têm sido frequentemente empregadas como agentes de controle biológico de pragas (Carroll; Janzen, 1973; Philpott; Ambrecht, 2006).

Ao comparar os sistemas de cultivo, a Integração Lavoura-Pastagem-Floresta (ILPF) se destacou pela maior riqueza de espécies e diversidade na série de Hill (Figura 4) e o segundo maior índice de diversidade de Shannon (Tabela 5). Portanto, a complexidade vegetal desse sistema favoreceu a riqueza de *Hymenoptera*, assim como trabalhos que avaliaram especialmente grupos de formigas, vespas parasitoides e abelhas (Anderson *et al.*, 2011; Gomes *et al.*, 2013; Cantarelli *et al.*, 2015; Azhar *et al.*, 2022).

Para os polinizadores, a riqueza de espécies vegetais proporciona um aumento na disponibilidade de recursos florais e estruturas de galhos e caules, facilitando a nidificação, especialmente para abelhas que nidificam acima do solo. Já espécies que nidificam no solo parecem não ser beneficiadas pelos recursos vegetais adicionais (Hass *et al.*, 2018).

Por outro lado, a área de integração Lavoura-Pastagem (LP) apresentou menor diversidade de espécies em comparação com a Pastagem isolada, contrastando com estudos que observaram maior diversidade de insetos em áreas em gramíneas (Hertzog *et al.*, 2016; Kelleher; Choi, 2020). A área de Pastagem isolada teve os maiores índices de diversidade de Shannon e Simpson, embora sem diferenças em relação ao sistema LPF para a série de Hill.

A diversidade de espécies de insetos é atribuída muitas vezes à hipótese da concentração de recursos e riqueza de espécies vegetais daquele ambiente (Risch, 1981). Porém, pode haver um fator que também contribui para a presença de insetos tanto quanto a riqueza das espécies vegetais: a riqueza de grupos funcionais. Plantas de mesmos grupos taxonômicos, gênero e família, tendem a apresentar características muito semelhantes em fisiologia, morfologia e fenologia, e esses grupos são frequentemente a especialidade dos insetos herbívoros (Haddad *et al.*, 2001). No caso das gramíneas de estação quente, essas realizam fotossíntese pela via C4 e geralmente tem baixo nível de nitrogênio nos tecidos, maior tenacidade e características estruturais que protegem amido e nutrientes. Isso configura uma menor qualidade do tecido vegetal e, consequentemente, menor preferência pelos insetos herbívoros (Caswell *et al.*, 1973). Assim, é possível prever que a associação de plantas com um mesmo grupo funcional, como em um sistema de Lavoura-Pastagem envolvendo milho e capim murundum, ambos da família Poaceae, influencie negativamente na riqueza de espécies de insetos, embora possa aumentar a abundância relativa de alguns grupos.

No estudo de Haddad e colaboradores (2001), foi analisada a influência da composição de áreas de Pastagem na diversidade de abundância de insetos. Os

resultados indicaram que a abundância de insetos era maior na ausência de plantas C4, devido à menor qualidade nutricional dessas plantas. Entretanto, quando plantas C4 estavam presentes, a abundância de insetos foi positivamente associada à biomassa vegetal. Esse efeito não se limitou aos herbívoros, mas também se estendeu a outras guildas, como predadores e himenópteros parasitoides (Anderson *et al.*, 2011), possivelmente devido à maior disponibilidade de habitats e recursos para espécies generalistas.

Outros estudos sugerem que a riqueza familiar de insetos herbívoros, bem como a de predadores e parasitoides, pode estar fortemente relacionada com a cobertura de gramíneas. Esses estudos apontam que áreas de Pastagem com gramíneas mais altas tendem a oferecer maior estabilidade de temperatura, já que a vegetação elevada não é aquecida tão rapidamente pelo sol nem resfriada pela circulação de ar, criando um microclima mais estável nas camadas superiores da vegetação em comparação com vegetações mais baixas. Esses fatores microclimáticos podem ter um impacto mais significativo na diversidade de artrópodes do que a própria riqueza de espécies vegetais (Botha; Siebert; Van Den Berg, 2017; Spalinger *et al.*, 2011).

Em nosso estudo anterior (Marques; Garcia, 2024), realizado na mesma área e período de coleta, avaliamos a entomofauna e abundância de insetos por ordens. Tanto no estudo anterior, quanto no atual, observamos que as áreas de sistema Lavoura-Pastagem (LP) apresentaram maior abundância de insetos. Embora a biomassa vegetal não tenha sido medida, se considerarmos que, durante o período de estudo, a área do sistema LP possuía a maior biomassa vegetal em comparação com a Pastagem isolada, isso poderia explicar a maior abundância de insetos nessa área com base na hipótese de que tecidos vegetais de menor qualidade, em Poaceae (C4), favorecem a abundância de insetos. Por outro lado, a hipótese da altura das gramíneas contradiz os nossos achados, pois, com o maior sombreamento proporcionado pelo milho no sistema LP, esperava-se uma maior riqueza de espécies, o que não foi observado.

Dessa maneira, nossa hipótese inicial de que a diversidade vegetal (riqueza) influenciaria diretamente a diversidade de *Hymenoptera* não foi plenamente corroborada. Para a diversidade alfa, a área de Pastagem, um ambiente homogêneo, apresentou diversidade similar ou superior à do ambiente mais complexo, o LPF, para a fauna de *Hymenoptera*.

Além disso, na análise de diversidade beta (Figura 5), a maioria das unidades amostrais que apresentaram similaridade superior a 95% estavam relacionadas, possivelmente, tanto pela composição vegetal semelhante quanto pela proximidade geográfica (Marques; Garcia, 2024; Santos *et al.*, 2016). Essa inconsistência provavelmente decorre do tipo de armadilha utilizado, do tempo de coleta, ou ambos. As armadilhas de interceptação de queda podem coletar alguns insetos voadores especializados em longa distância, o que pode enfraquecer a relação entre os táxons de plantas e os insetos que se pretende estudar. Além disso, os dados apresentados refletem apenas a uma única campanha realizada na estação seca, enquanto outros trabalhos abrangem as duas estações e até mesmo décadas de variação (Haddad *et al.*, 2009; Kelleher; Choi, 2020).

No estudo de Albuquerque e colaboradores (2009), os autores conduziram coletas em apenas uma estação, com um período de esforço amostral muito similar ao nosso. Nesse caso, a comunidade de artrópodes apresentou maior diversidade no

ambiente mais homogêneo, e não foram observadas diferenças significativas na composição de artrópodes entre as áreas investigadas. Os autores ressaltaram a necessidade de ampliar o período de coleta para outras épocas do ano, a fim de obter um conhecimento mais completo da fauna.

Outro fator que pode ter influenciado os resultados é o fato de que o estudo foi realizado no início da aplicação do projeto sustentável da EPAMIG, quando o componente Florestal havia sido recentemente plantado. Com as plantas ainda jovens, o verdadeiro impacto do componente Florestal sobre a paisagem e a comunidade de artrópodes pode levar tempo para se manifestar, especialmente considerando estudos que identificam a serrapilheira do ambiente Florestal como um dos principais fatores de influência a comunidade de artrópodes (Cunha Neto *et al.*, 2012; MENEZES *et al.*, 2009).

Para uma visão mais precisa da composição da comunidade de *Hymenoptera*, é essencial realizar coletas em todas as estações do ano. Recomenda-se, portanto, a repetição deste estudo num futuro próximo, para compreender a variação temporal dos insetos na área e, sobretudo, a real contribuição do componente Florestal para esse sistema de cultivo.

5 CONCLUSÃO

A amostragem de insetos nas 18 áreas de estudo foi realizada entre os meses de maio a agosto. Foram coletados 2.476 insetos da ordem *Hymenoptera* distribuídos em 100 morfoespécies. A Família Formicidae foi a família mais abundante do estudo.

As áreas de Pastagem de capim-marandu apresentaram a maior diversidade de espécies de *Hymenoptera* para os índices de diversidade de Shannon e Simpson, se comparada às áreas de integração LPF e LP. Para os perfis de diversidade, LPF e Pastagem não apresentaram diversidades distintas, porém, ambas, mais diversas que o sistema LP.

Nossa hipótese inicial sobre a diversidade de *Hymenoptera* estar diretamente relacionada à riqueza de plantas foi parcialmente corroborada. Verificamos que as espécies de plantas neste estudo podem influenciar de maneira diferente na diversidade de insetos, especialmente *Hymenoptera*. A riqueza de espécies de plantas por si só pode não explicar totalmente a composição de espécies; é possível que a biomassa de plantas C4 também influencie na abundância desses grupos, mas isso ainda não está claro.

Assumimos a limitação do nosso estudo, dado que a amostragem ocorreu apenas no período de seca e o método de coleta escolhido, armadilha de interceptação de queda (*pitfall*), apresenta restrições. *Pitfalls*, além de fazer um recorte da diversidade de *Hymenoptera*, privilegiando formigas, organismos epigeicos e abundantes, podem atrair insetos alados de diferentes áreas do estudo que são próximas. Esse fator pode interferir na compreensão da relação entre a riqueza de espécies de insetos e a composição de plantas.

Por fim, como o experimento foi conduzido no início do projeto, e o eucalipto, a espécie perene, ainda estava em estado jovem, o efeito do componente Florestal sobre os insetos pode não ter sido significativo. Sugerimos que o estudo seja repetido coletando dados em diferentes estações e em períodos futuros, para melhorar a

compreensão da influência do sistema LPF na diversidade de Hymenoptera nessas áreas.

REFERÊNCIAS

- ABREU, P. C. O. V.; NOGUEIRA, C.R. Spatial distribution of species at Rio de Janeiro Coast, Brasil. **Ciência e Cultura**, 41, p. 897-902, 1989.
- ALBUQUERQUE, M. P. de; MACHADO, A. M. B.; MACHADO, A. de F.; VICTORIA, F. de C.; MORSELLI, T. B. G. A. Fauna edáfica em sistema de plantio homogêneo, sistema agroflorestal e em mata nativa em dois municípios do Rio Grande do Sul, Brasil. **Biociências**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 59-66, dez. 2009. Disponível em: <https://revistaseletronicas.pucrs.br/fabio/article/view/4889>.
- ALTIERI, M. A.; SILVA, E. N.; NICHOLLS, C. I. **O papel da biodiversidade no manejo de pragas**. Ribeirão Preto: Holos, 2003.
- ANDERSON, A.; MCCORMACK, S.; HELDEN, A.; SHERIDAN, H.; KINSELLA, A.; PURVIS, G. The potential of parasitoid Hymenoptera as bioindicators of arthropod diversity in agricultural grasslands. **Journal of Applied Ecology**, v. 48, p. 382-390, 2011. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01937.x>.
- AQUINO, A. M.; AGUIAR-MENEZES, E. L.; QUEIROZ, J. M. Recomendações para coleta de artrópodes terrestres por armadilhas de queda (“pitfall-traps”). **Circular Técnica Embrapa**, Rio de Janeiro, n. 16, 2006.
- AZHAR, A.; TAWAKKAL, M. I.; SARI, A.; RIZALI, A.; TARIGAN, S. D.; NAZARRETA, R.; BUCHORI, D. Tree Diversity Enhance Species Richness of Beneficial Insect in Experimental Biodiversity Enrichment in Oil Palm Plantation. **International Journal of Oil Palm**, [S. l.], v. 5, n. 2, p. 39-49, 2022. DOI: 10.35876/ijop.v5i2.82. Available at: <http://ijop.id/index.php/ijop/article/view/82>.
- BACCARO, F. B.; FEITOSA, R. M.; FERNANDEZ, F.; FERNANDES, I. O.; IZZO, T. J.; DE SOUZA, J. L.; SOLAR, R. **Guia para os gêneros de formigas do Brasil**. Manaus: Editora INPA, 2015. 388 p.
- BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; OLIVEIRA, P. de; KLUTHCOUSKI, J.; GALERANI, P. R.; VILELA, L. Agricultura sustentável por meio da integração Lavoura-pastagem-Floresta (iLPF). **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.138, p. 1-18, jun. 2012. Available at: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1111127/1/BalbinoAgriculturasustentavel.pdf>.

BOTHA, M.; SIEBERT, S. J.; VAN DEN BERG, J. Grass abundance maintains positive plant–arthropod diversity relationships in maize fields and margins in South África. **Agricultural and Forest Entomology**, v. 19, p. 154-162, 2017. Available at: <https://doi.org/10.1111/afe.12195>.

CANTARELLI, E. B. FLECK, M. D.; GRANZOTTO, F.; CORASSA, J. De N.; AVILA, M. d'. Diversidade de formigas (Hymenoptera: Formicidae) da serrapilheira em diferentes sistemas de uso do solo. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 3, p. 607-616, jul. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509819612>.

CARVALHO, L. L. B. de *et al.* Entomofauna edáfica associada a lavouras de coqueiro na Amazônia oriental. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 42, n. 5, p. 2615–2628, 2021. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/40400>.

COMÉRIO, E. F.; BENASSI, V. L. R. M.; PERIOTO, N. W. Influência de plantas invasoras na abundância de himenópteros parasitoides (Insecta, Hymenoptera) encontrados em cultura de coqueiro anão verde, em Linhares, ES, Brasil. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 80, n. 1, pág. 117-123, jan. 2013.

COMÉRIO, E. F.; ONODY, H. C.; BENASSI, V. L. R. M. Levantamento da fauna de Ichneumonidae (Hymenoptera) em cultivo de coqueiro anão verde associado a plantas invasoras. **EntomoBrasilis**, v. 5, n. 2, p. 109-114, 2012.

CARROLL, C. R.; JANZEN, D. H. Ecology of Foraging by Ants. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 4, p. 231-257, 1973. Available at: <http://www.jstor.org/stable/2096812>.

CASWELL, H.; REED, F.; STEPHENSON, S. N.; WERNER, P. A. Photosynthetic Pathways and Selective Herbivory: A Hypothesis. **The American Naturalist**, v. 107, p. 465-480, 1973. Available at: <https://doi.org/10.1086/282851>.

COWELL, R. K. **Online User's Guide**. Corrected Draft 7. March 2001, Version 6.0: <http://vicero.eeb.uconn.edu/estimates>. 2001.

CUNHA NETO, F. V. da; CORREIA, M. E. F.; PEREIRA, G. H. A.; PEREIRA, M. G.; LELES, P. S. dos S. Soil fauna as an indicator of soil quality in forest stands, pasture and secondary forest. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 5, p. 1407-1417, out. 2012. Available at: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000500004>.

DUELLI, P.; OBRIST, M. K.; SCHMATZ, D. R. Biodiversity evaluation in agricultural landscapes above-ground insects. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 74, n. 1-3, p. 33-64, 1999. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00029-8](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00029-8).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPASTAGEM. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Solos, 1999. 412p.

FERNANDES, L. de O.; REIS, R. A.; PAES, J. M.V. Efeito da suplementação no desempenho de bovinos de corte em Pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. *Marandu pasture*. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 1, p. 240-248, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542010000100031>.

FLAUSINO, B. F. **Avaliação da abundância de pragas e inimigos naturais no consórcio milho-braquiária**. 2021. 42 f. Dissertação (Mestrado em Manejo e Conservação de Ecossistemas Naturais e Agrários) - Universidade Federal de Viçosa, Florestal, 2021. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/3997/1/texto%20completo.pdf>.

GALLO, D. *et al.* **Entomologia agrícola**. Piracicaba: FEALQ, 2002.

Gliessman, S. R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2001.

GOMES, D. S.; ALMEIDA, F. S.; VARGAS, A. B.; QUEIROZ, J. M. Resposta da assembleia de formigas na interface solo-serapilheira a um gradiente de alteração ambiental. **Iheringia. Série Zoologia**, v. 103, n. 2, p. 104–109, jun. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0073-47212013000200004>.

HADDAD, N. M.; CRUTSINGER, G. M.; GROSS, K.; HAARSTAD, J.; KNOPS, J. M. H.; TILMAN, D. Plant species loss decreases arthropod diversity and shifts trophic structure. **Ecology Letters**, v. 12, p. 1029-1039, 2009. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01356.x>.

HADDAD, N. M. TILMAN, D.; HAARSTAD, J.; RITCHIE, M.; KNOPS, J. M. H. Contrasting Effects of Plant Richness and Composition on Insect Communities: A Field Experiment. **The American Naturalist**, v. 158, p.17-35, 2001. Available at: <https://doi.org/10.1086/320866>.

HASS, A. L.; LIESE, B.; HEONG, K. L.; SETTELE, J.; TSCHARNTKE, T.; WESTPHAL, C. Plant-pollinator interactions and bee functional diversity are driven by agroforests in rice-dominated landscapes. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 253, p.140-147, 2018. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880917304656>.

HERTZOG, L. R.; MEYER, S. T.; WEISSER, W. W.; EBELING, A. Experimental Manipulation of grassland plant diversity induces complex shifts in aboveground arthropod diversity. **PLoS ONE**, v. 11(2), e0148768, 2016. Available at: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0148768>.

HÖLLDOBLER, B.; WILSON, E. O. **The ants**. Massachusetts: The Belknap Press of Harvard University Press, 1990.

KELLEHER, E. M.; CHOI, Y. D. Role of plant diversity on arthropod communities in a restored tallgrass prairie of the U.S. Midwest. **Restor Ecol**, v.28, p.1464-1474, 2020. Available at: <https://doi.org/10.1111/rec.13238>.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pastagem: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 133-146, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009001300015>.

MAJER, J. D., DELABIE, J. H. C. Comparison of the ant communities of annually inundated and terra firme forests at Trombetas in the Brazilian Amazon. **Ins. Soc**, 41, p. 343-359, 1994. Available at: <https://doi.org/10.1007/BF01240639>.

MARQUES, N. B. L.; GARCIA, E. Q. Diversidade da entomofauna edáfica associada ao sistema de cultivo integrado Lavoura-Pastagem-Floresta-ILPF. **Revista Perquirere**, Patos de Minas, v.21, p. 102-114, 2024. Available at: <https://revistas.unipam.edu.br/index.php/perquirere/article/view/5171/3175>.

MELO, A. S. O que ganhamos 'confundindo' riqueza de espécies e equabilidade em um índice de diversidade? **Biota Neotropica**, v. 8, n. 3, p. 21-27, jul. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1676-06032008000300001>.

MENEZES, C. E. G.; CORREIA, M. E. F.; PEREIRA, M. G.; BATISTA, I.; RODRIGUES, K. de M.; COUTO, W. H.; ANJOS, L. H. C. doa; OLIVEIRA, Í. P. de. Macrofauna edáfica em estádios sucessionais de Floresta Estacional Semidecidual e Pastagem mista em Pinheiral (RJ): Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 6, p. 1647-1656, nov. 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000600013>.

MOÇO, M. K. da S.; RODRIGUES, E. F. da G.; RODRIGUES, A. C. da G.; CORREIA, M. E. F. Caracterização da fauna edáfica em diferentes coberturas vegetais na região norte Fluminense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 4, p. 555-564, jul. 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000400008>.

MOUTINHO, P.; NEPSTAD, D. C.; DAVIDSON, E. A. Influence of leaf-cutting ant nests on secondary forest growth and soil properties in Amazonia. **Ecology**, 84: p.1265-1276, 2003. Available at: [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2003\)084\[1265:IOLANO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2003)084[1265:IOLANO]2.0.CO;2).

PHILPOTT, S. M.; ARMBRECHT, I. Biodiversity in tropical agroforests and the ecological role of ants and ant diversity in predatory function. **Ecological Entomology**, v. 31, p. 369-377, 2006. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2311.2006.00793.x>.

QUEIROZ, J. M.; ALMEIDA, F. S.; PEREIRA, M. P. dos S. Conservação da biodiversidade e o papel das formigas (Hymenoptera: Formicidae) em agroecossistemas. **Floresta e Ambiente**, v. 13, n. 2, p. 37-45, abr. 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/floram/a/h7bGgygr4k9c4HSKJ3RMsVd/>

RAFAEL, J. A. *et al.* **Insetos do Brasil**: diversidade e taxonomia. Ribeirão Preto: Holos, 2012.

R CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2014.

RISCH, S. J. Insect herbivore abundance in tropical monocultures and polycultures: an experimental test of two hypotheses. **Ecology**, v. 62, p. 1325-1340, 1981. Available at: <https://doi.org/10.2307/1937296>.

SANTOS, R. S.; SILVA, D. A. da; PEREIRA, A. A. A., OLIVEIRA, L. C. de. Levantamento da entomofauna edáfica associada à mata ripária e sistema agroflorestal, em Rio Branco, AC. **Rev. Agrotrópica**, v. 28, p. 277-284, 2016. Disponível em: [10.21757/0103-3816.2016v28n3p277-284](https://doi.org/10.21757/0103-3816.2016v28n3p277-284).

SCHAEFFER, S. E. Graph clustering. **Computer Science Review**, Elsevier BV, v. 1, n. 1, p. 27-64, 2007.

SILVA, J.; JUCKSCH, I.; TAVARES, R. C. Invertebrados edáficos em diferentes sistemas de manejo do cafeeiro na Zona da Mata de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 7, n. 2, p. 112-125, 2012. Disponível em: http://www.abagroecologia.org.br/ojs2/index.php/rbagroecologia/article/view/10082/pdf_1.

SPALINGER, L. C.; HAYNES, A. G.; SCHÜTZ, M.; RISCH, A. C. Impact of wild ungulate grazing on Orthoptera abundance and diversity in subalpine grasslands. **Insect Conservation and Diversity**, v. 5, p. 444-452, 2011. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1752-4598.2011.00180.x>.

TEIXEIRA, F. M. Técnicas de captura de *Hymenoptera* (Insecta). **Vértices**, v. 14, n. 1, p. 169-198, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Fm-Teixeira/publication/264414345_Tecnicas_de_captura_de_Hymenoptera_Insecta/links/53dbbc2f0cf216e4210bffb8/Tecnicas-de-captura-de-Hymenoptera-Insecta.pdf.

Manejo de fertilizantes nitrogenados no cultivo de milho verão

Nitrogen Fertilizer Management in Summer Maize Cultivation

GUSTAVO DOMINGOS MOTA LIMA

Discente de Agronomia (UNIPAM)
gdml017@unipam.edu.br

CARLOS HENRIQUE EITERER DE SOUZA

Professor orientador (UNIPAM)
carloshenrique@unipam.edu.br

Resumo: O milho é o grão mais produzido e consumido no mundo e suas características conferem alta demanda nutricional e respostas à adubação nitrogenada, qualitativa e quantitativamente. A ureia é o fertilizante nitrogenado mais utilizado no mundo, contudo apresenta perdas severas em ambiente tropical. Para mitigar esses problemas, tecnologias são desenvolvidas em fertilizantes nitrogenados. Nesse sentido, esta pesquisa teve como objetivo avaliar o efeito do manejo de fontes de fertilizantes nitrogenados aplicados em cobertura no cultivo de milho verão. O experimento foi conduzido em Patos de Minas (MG), em Neossolo Regolítico Eutrófico, em sistema de plantio convencional, em DBC. Utilizou-se de fontes com base em ureia, sendo codificadas em UC, UT, UK, UEE, UEC, UN, USNP e Controle. Elas apresentaram diferenças em 16 das 19 características avaliadas, com destaque à produtividade de grãos, sendo a fonte convencional semelhante àquelas com tecnologia, exceto UT, que junto ao Controle foram inferiores. Fontes sólidas apresentaram melhor desempenho, em geral, devido à menor suscetibilidade à lixiviação e ao escoamento superficial, diante do volume expressivo de chuvas após a aplicação nitrogenada em cobertura.

Palavras-chaves: produtividade; eficiência; tecnologias de revestimento; ureia; plantio convencional.

Abstract: Maize is the most produced and consumed grain worldwide, and its agronomic characteristics result in high nutritional demand and strong qualitative and quantitative responses to nitrogen fertilization. Urea is the most widely used nitrogen fertilizer in the world; however, it exhibits severe losses under tropical conditions. To mitigate these issues, new technologies have been incorporated into nitrogen fertilizers. In this context, this study aimed to evaluate the effect of managing different nitrogen fertilizer sources applied as topdressing in summer maize cultivation. The experiment was carried out in Patos de Minas (MG), Brazil, on an Eutrophic Regolith Neosol under a conventional tillage system, using a randomized block design (RBD). The evaluated nitrogen sources were based on urea and coded as UC, UT, UK, UEE, UEC, UN, USNP, and Control. Significant differences were observed for 16 out of the 19 analyzed traits, with grain yield standing out. The conventional urea source showed performance similar to that of the enhanced-efficiency fertilizers, except for UT, which, along with the Control, resulted in lower yields. Overall, granular sources exhibited superior performance due to their lower susceptibility to leaching and runoff, especially considering the substantial rainfall that occurred after the topdressing nitrogen application.

Keywords: productivity; efficiency; coating technologies; urea; conventional tillage.

1 INTRODUÇÃO

O milho, *Zea mays* L., figura, na última década, como o grão mais produzido no mundo, com média de 1,13 bilhão de Mg ano⁻¹ (USDA, 2025). O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho, com avanço de 800 mil hectares em área para a safra 2024/2025, com 10% da produção mundial do grão, atrás dos EUA e da China (MAPA, 2024). Nessa perspectiva, o milho é a segunda cultura anual mais plantada no Brasil, em área de cerca de 21 milhões de hectares (CONAB, 2025), dividido em três safras no país, com produtividade média de 6.223 kg ha⁻¹ e 137,6 milhões de Mg de produção total estimada para a safra 2024/2025. Desse modo, na primeira safra, estima-se a produção de 26,2 milhões de Mg, o que representa crescimento na produção de 19,9% do ano anterior (IBGE, 2025).

Diante desse cenário, a cultura necessita atingir níveis adequados de todos seus nutrientes em seus tecidos para maiores produtividades e maior qualidade do produto final, sendo adubação nitrogenada, população de plantas, material genético e clima os seus principais fatores (Costa *et al.*, 2005). O nitrogênio (N) está presente nas principais estruturas da planta, nos nucleotídeos, que formam os ácidos nucleicos, nos aminoácidos, que formam as proteínas, na molécula de clorofila, por isso é o nutriente mais exigido pelo milho (Taiz *et al.*, 2017). Nesse sentido, o N é responsável por aumentar significativamente a produtividade de grãos, qualidade e tamanho da espiga (Silva *et al.*, 2005; Valderrama *et al.*, 2014) e se caracteriza por onerar significativamente os custos de produção (Souza *et al.*, 2016).

Nessa perspectiva, a cada 1.000 kg ha⁻¹ de grãos produzidos em uma lavoura de milho, pode-se extrair do solo valores de 12,38 kg ha⁻¹ (Coelho *et al.*, 2008), 25,8 kg ha⁻¹ (Sangoi; Almeida, 1994) e 28 kg ha⁻¹ de N, proporcional à produtividade, com incrementos decrescentes, ao passo que a cultura exporta 60% (Cantarella, 2007) a 77% deste valor total (Coelho, 2007). Historicamente, os solos brasileiros não possuem fertilidade natural para o fornecimento total do teor de N necessário para alcançar produtividades elevadas, especialmente por sua maior fração estar na forma orgânica, cerca de 95% (Cantarella, 2007), fortemente intemperizada nos latossolos (Lopes; Guilherme, 2007), bem como pelo uso agrícola (Zonta *et al.*, 2021). Desse modo, passa a ser necessário o aporte de N por outros meios, especialmente por fertilizantes nitrogenados, como a ureia, produzida desde o início do século XX, pelo método Haber-Bosch (Ribeiro, 2013).

A ureia é o fertilizante nitrogenado mais utilizado no mundo e corresponde a 60% dos fertilizantes utilizados na agricultura brasileira devido ao seu relativo baixo custo por teor de N em sua composição, de 45 ou 46% (Zonta *et al.*, 2021). Contudo, a ureia (CO(NH₂)₂) apresenta perdas expressivas de N por volatilização da amônia (NH₃), entre outras formas, de modo que aplicada ao solo pode sofrer hidrólise, por ação da enzima urease, liberando N amoniacal (NH₄⁺) ao consumir prótons (H⁺), e em pH básico se transforma em NH₃, fração gasosa do N amoniacal, acarretando perdas de 40 a 78% do N, aplicado em superfície (Cantarella, 2007).

Diante desse cenário, para diminuir perdas no uso da ureia, a utilização de tecnologias e práticas eficientes se tornou necessária. A incorporação da ureia é um método eficiente de diminuir perdas por volatilização, porém acrescenta custo e

dificuldades no manejo operacional e estimula germinação de plantas daninhas (Cantarella, 2007). Nessa perspectiva, fertilizantes de eficiência aumentada são alternativas e podem ser divididos, basicamente, entre aqueles com inibidores de enzimas de reações químico-biológicas e fertilizantes de liberação lenta ou controlada, com revestimento dos grânulos por substâncias orgânicas ou inorgânicas (Almeida, 2016), estabilizadores de N (Trenkel, 2010), e fluidos em geral (Cantarella, 2007). Além disso, estudos indicam tecnologias de liberação controlada mais interessantes e viáveis a nível de campo, diante dos cenários climatológicos e necessidades da cultura (Liu *et al.*, 2021). Assim, busca-se incessantemente fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada, ao passo que se necessita de evoluir as técnicas para que se consiga fertilizantes mais eficientes (Almeida, 2016). Nesse sentido, o presente estudo teve por objetivo avaliar o efeito do manejo de fontes de fertilizantes nitrogenados aplicados em cobertura no cultivo de milho verão.

2 METODOLOGIA

O experimento foi conduzido em campo experimental, na Fazenda Gordura, no município de Patos de Minas, Minas Gerais, em Neossolo Regolítico Eutrófico, de textura média, em relevo ondulado (Santos *et al.*, 2018). O local apresenta as seguintes coordenadas geográficas: 18°37'52"S 46°07'33"W, 824 m de altitude e terrenos de até 12% de declividade, fator que eleva preocupações e cuidados quanto à erosão, especialmente em falta de cobertura vegetal e curvas em nível (GOOGLE, 2025; IENSEN, 2006). O clima da região, segundo a classificação de Köppen-Geiger, é predominantemente tropical (Aw), caracterizado com verão com maior pluviosidade e temperatura em relação ao inverno (Kottek *et al.*, 2006). Segundo a última Normal Climatológica, de 1991 a 2020, durante os meses de novembro a março, a temperatura média no local varia de 22,5°C a 22,9°C, mínima de 18,0°C a 18,6°C e máxima de 28,6°C a 29,4°C, umidade relativa de 75% a 79,2% e precipitação acumulada de 1.168,7 mm nesse período (INMET, 2025).

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados (DBC), com quatro repetições, com sete tratamentos à base de ureia 45%, com dose estabelecida em 100 kg ha⁻¹, e um tratamento controle, sem adição de N, no milho em estágio vegetativo V6. São compostos por UC, ureia convencional, sem revestimento e granulada; UT e UK, fertilizantes fluidos a partir do uso de ácidos húmicos, diferentes para cada um dos tratamentos, e dissolução de ureia convencional; UEE, UEC, UN, ureia granulada com tecnologias diferentes de revestimento; e USNP, ureia granulada com inibidor de urease. Uma vez que não são produtos comerciais, as ureias com tecnologia estão codificadas, ao passo que as diferentes concentrações e composições dos polímeros, entre outros detalhes, são segredos industriais para esses fertilizantes, o que impossibilita a divulgação desses dados (Tabela 1).

Tabela 1: Descrição dos tratamentos utilizados em cobertura em milho verão, contendo fonte codificada, dose equivalente de nitrogênio e composição, UNIPAM, Patos de Minas (MG), 2025

| Tratamentos | Dose N | Composição |
|-------------|-------------------------|------------------------------------|
| T1 UC | 100 kg ha ⁻¹ | Ureia 45% N |
| T2 UT | 100 kg ha ⁻¹ | 35% Dose Ureia + 10g Ácido Húmico |
| T3 UK | 100 kg ha ⁻¹ | 35% Dose Ureia + 10g Ácido Húmico |
| T4 UEE | 100 kg ha ⁻¹ | Ureia + Tecnologia de Revestimento |
| T5 UEC | 100 kg ha ⁻¹ | Ureia + Tecnologia de Revestimento |
| T6 UN | 100 kg ha ⁻¹ | Ureia + Tecnologia de Revestimento |
| T7 USNP | 100 kg ha ⁻¹ | Ureia + Inibidor de Urease |
| T8 Controle | 0 kg ha ⁻¹ | 0% N |

Para implantação do experimento, foi realizada amostragem de solo em profundidade de 0 a 10 cm para análises químicas (Tabela 2) (Silva, 2009) e texturais (Tabela 3) (EMBRAPA, 2017). Essas foram realizadas após o plantio do milho, antes da implantação dos tratamentos em cobertura.

Tabela 2: Resultados da análise química do solo da Fazenda Gordura, CeFert, UNIPAM, Patos de Minas (MG), 2025

| | M.O.S. | P- Rem | P- Meh | Ca | Mg | Al | H+Al | SB | T | K | V% |
|------|-------------------------|--------------------|------------------------|-------|------------------------|-------|------|-------|-------|------------------------|-------|
| pH | dag kg ⁻¹ | mg L ⁻¹ | mg dm ⁻³ | ----- | cmolc dm ⁻³ | ----- | | | | mg dm ⁻³ | % |
| 5,77 | 3,13 | 31,52 | 44,27 | 8,00 | 3,10 | 0,02 | 3,30 | 12,39 | 15,69 | 504,05 | 78,97 |

Extratores: pH em água, K e P-assimilável por Mehlich⁻¹, P-remanescente, teores de Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ trocáveis extraídos por KCl; acidez potencial (H+Al) por Acetato de Cálcio; matéria orgânica total (MOS) por titulometria, segundo metodologia da Embrapa (Silva, 2009).

Tabela 3: Resultados da análise física do solo da Fazenda Gordura, CeFert, UNIPAM, Patos de Minas (MG), 2025

| Areia | Silte | Argila |
|------------|-------|--------|
| ----- % | ----- | |
| 59,3 | 12,45 | 28,25 |

Textura do solo: metodologia EMBRAPA, 2017.

O plantio foi realizado utilizando o híbrido de milho BX 3063 BTMAX®, de ciclo precoce, de modo convencional, com aração e gradagem, sem aplicação de pré-emergente ou dessecante, com população de 66.000 plantas ha⁻¹ e densidade de semeadura de 3,3 sementes m⁻¹. Também se realizou a mesma adubação de plantio de 300 kg ha⁻¹ do fertilizante NPK 08-30-10 em todo o experimento, conforme Alvarez *et al.* (1999). As parcelas foram de cinco metros de comprimento, contendo seis linhas e espaçamento de 0,5 m entre elas.

Antes da aplicação dos tratamentos, conforme manejo do proprietário, foi realizado, em área total na lavoura, o plantio de 6 kg ha⁻¹ de BRS Zuri. Esse teve seu crescimento rapidamente controlado com aplicação dos herbicidas Ultimato SC® (2 L ha⁻¹) e Calaris® (2 L ha⁻¹), atrazina e atrazina + mesotriona, também utilizados para

controle de outras plantas daninhas, em que se realizou a aplicação de forma conjunta ao fungicida Nativo® (600 ml ha⁻¹), tebuconazol + trifloxistrobina, para prevenção e controle de doenças fúngicas, dos inseticidas Afiado® (300 ml ha⁻¹), acetamiprido + bifentrina, e Celtic® (250 g ha⁻¹), *Beauveria bassiana* + *Isaria javanica*, visando controle de cigarrinha-do-milho, do fertilizante foliar Nufol Imperium® (1,2 L ha⁻¹), para fornecimento complementar, especialmente, de micronutrientes, contendo 6% de enxofre, 5,5% de zinco, 5% de N, 3% de manganês, 2% de aminoácidos, 1,5% de magnésio, 0,4% de molibdênio e 0,4% de boro, além de óleo mineral e adjuvante.

A adubação de cobertura foi realizada no dia 22 de dezembro de 2024. Entre os dias 20 e 26 de dezembro, o INMET, na Estação de Sertãozinho, A562, Patos de Minas, registrou 88 mm e 22,6 °C de média, e na fazenda, com pluviômetro simples, registrou-se 100 mm de precipitação. Durante a aplicação, o solo estava úmido, com pouca incidência solar e não havia chuva, havendo no dia anterior 44,6 mm de precipitação das 4h às 13h e, posteriormente, chuva de apenas 0,8 mm ao fim do dia e 42 mm na soma dos dias 25 e 26, em dias considerados nublados. Ademais, ao longo de todo o ciclo da cultura, de 25 de novembro de 2024 a 15 de março de 2025, houve precipitação de 759 mm, segundo marcação local, e 1.107,2 mm na Estação de Sertãozinho, com temperatura média de 23,3 °C durante o período, segundo dados obtidos (INMET, 2025).

Figura 1: Precipitação e distribuição de chuvas no período entre 24/11/2024 e 24/02/2025, INMET, A562, Patos de Minas (MG), 2025



Fonte: INMET, 2025.

Foram avaliados os tratamentos e suas repetições nas parcelas quanto à altura de plantas, altura da inserção da primeira espiga, diâmetro de colmo, índice de clorofila foliar, teor de N foliar, massa fresca de plantas, número de fileiras, grãos por fileira e grãos na espiga, massa de mil grãos, teor de N total nos grãos, teor de proteína nos grãos, produtividade de grãos, extração de N, exportação de N, eficiência na extração do N, eficiência na exportação do N, eficiência agronômica e índice de eficiência agronômica, conforme metodologias.

No estágio reprodutivo R1, nas linhas três e quatro, foram coletados dados sobre altura de plantas, do nível do solo ao pendão, e altura de inserção da espiga de cinco plantas por parcela, com auxílio de uma trena, em m. Também foi mensurada a espessura do colmo, medindo em mm o diâmetro com auxílio de um paquímetro digital. Além disso, foi mensurado o teor de clorofila foliar, com o auxílio do equipamento de

índice Soil Plant Analysis Development (SPAD-502) (Zotarelli *et al.*, 2003; Barros *et al.*, 2017), no terço central da folha da base da espiga de cinco plantas por parcela, e coletadas amostras foliares, secadas em estufa de circulação em temperatura entre 60°C e 70°C, para determinação do N foliar, em laboratório, em g kg⁻¹ (Malavolta *et al.*, 1997; Van Raij, 2011; Valderrama *et al.*, 2014).

Depois, foram coletadas duas plantas, nas linhas dois e cinco, por parcela, em estádio reprodutivo R3, para mensurar massa fresca de planta inteira, com auxílio de balança digital de precisão de 0,01 kg. Ademais, as espigas coletadas foram levadas ao laboratório para contagem de números de fileiras, grãos por fileira e grãos por espiga.

Foram coletadas espigas, nas fileiras três e quatro, com espaçamento de um metro entre as parcelas, em plantas de estádio reprodutivo R6, em completa maturidade fisiológica, levadas ao laboratório para secagem, em estufa de circulação de ar a 65°C, para determinação de massa mil grãos, corrigidas para umidade de 13%, determinada em balança digital de precisão de 0,01 g. Também foram realizadas análises de N total nos grãos, seguindo a metodologia de Kjeldahl, e análise de dados para níveis proteicos, produtividade de grãos, determinada em razão da massa total de grãos por área útil da parcela, extração, em função da produtividade e teor médio de N extraído pela cultura, e exportação do nutriente, em função da produtividade e teor do nutriente nos grãos, em g kg⁻¹ (Coelho *et al.*, 2022; Farinelli; Lemos, 2010; Malavolta *et al.*, 1997; Coelho *et al.*, 2008). Também foram realizadas avaliações quanto à eficiência agrônômica, em caso de diferenças significativas entre as fontes testadas de fertilizantes nitrogenados para produtividade, conforme metodologia de Fageria; Baligar (2005) (Farinelli; Lemos, 2010):

$$EA = (PG_{cf} - PG_{sf}) / (QN_a)$$

Em que:

- EA – eficiência agrônômica, kg kg⁻¹;
- PG_{cf} – produtividade de grãos com fertilizante nitrogenado, kg ha⁻¹;
- PG_{sf} – produtividade de grãos sem fertilizante nitrogenado, kg ha⁻¹;
- QN_a – quantidade de N aplicado, kg.

Ademais, foram avaliados os tratamentos em índice de eficiência agrônômica (IEA), com metodologia que abrange o uso do fertilizante com tecnologia versus fertilizante convencional, adaptado de Oliveira *et al.* (1986):

$$IEA = (P_f - P_c) * 100 / (P_u - P_c)$$

Em que:

- IEA – índice de eficiência agrônômica, %;
- P_f – produtividade de grãos da fonte x, kg ha⁻¹;
- P_c – produtividade de grãos do tratamento controle, kg ha⁻¹;
- P_u – produtividade de grãos da ureia convencional, kg ha⁻¹;

Os resultados foram tabulados, e as médias submetidas à análise de variância e, se significativas as diferenças, comparadas pelo teste de Tukey, ajustado para 5% de significância, utilizando o software SISVAR (Ferreira, 2019).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O crescimento do milho foi influenciado pela adubação nitrogenada em cobertura, com efeito positivo em relação a sua ausência. As diferentes fontes apresentaram mesma performance, enquanto o tratamento Controle foi inferior a todos, exceto a UT (Tabela 4). A adição de N de forma equilibrada no período vegetativo promove o crescimento da parte aérea, especialmente via regulação hormonal, sendo um dos principais fatores para essa característica no milho (Fagan *et al.*, 2022; Le; Zhang; Xu, 2020). Explica-se o tratamento UT semelhante ao tratamento Controle à precipitação, lixiviação e escoamento superficial sofridos pelo fertilizante líquido composto por N, nutriente este que, conforme descrito por Bramorski *et al.* (2015), possui propriedades de ser transportado por chuvas, especialmente em condições de maior precipitação após a adubação de cobertura, como em questão, sem incorporação e o solo preparado em plantio convencional, sem palhada expressiva. Nesta última condição, explica Cantarella (2007), perdas por volatilização são menores devido à menor atividade da enzima urease, levando fontes convencionais, UC, a apresentarem performance semelhante a fontes com revestimento e inibidores de urease, ao passo que solos de poder tampão mais elevados diminuem perdas de amônia por volatilização.

A altura de inserção da espiga não foi influenciada pela adubação nitrogenada em cobertura, de modo aos tratamentos serem semelhantes entre si (Tabela 4). Nessa perspectiva, o fornecimento de N via sistema e adubação de plantio foram suficientes, se ligando ao período de baixa demanda nutricional e extração de N, entre crescimento vegetativo e pendoamento, de modo à adubação nitrogenada não ter influenciado tal característica (Coelho *et al.*, 2002). Batista *et al.* (2017), Oliveira *et al.* (2023) e Farinelli; Lemos (2010) também não verificaram diferenças na altura de inserção de espiga diante do fornecimento de N em cobertura.

O diâmetro de colmo divergiu entre os tratamentos UT e UEE, sendo este superior em espessura que o anterior. No entanto, os demais foram semelhantes entre si e aos supracitados (Tabela 4). Isso se deve à maior suscetibilidade de fontes fluidas, solúveis, por escoamento superficial e lixiviação, conforme dito (Cantarella, 2007), e à alta declividade do terreno aliada ao baixo teor de resíduo vegetal (IENSEN, 2006). Do mesmo modo, com relação aos demais tratamentos, Souza *et al.* (2016) e Oliveira *et al.* (2023) não observaram diferenças no diâmetro de colmo por fontes de N.

O índice SPAD foi diretamente influenciado pela adubação nitrogenada em cobertura, diferindo entre fontes e a não aplicação do nutriente. O tratamento UN foi superior a UT, UK e Controle, sendo os três semelhantes entre si e o último inferior a UN e aos tratamentos UC, UEE, UEC, USNP (Tabela 4). Nessa perspectiva, os teores de N foliar também foram influenciados pela adubação nitrogenada em cobertura e pela fonte utilizada. Apesar de não atingirem níveis adequados, de 27,5 a 32,5 g kg⁻¹ de N (Malavolta *et al.*, 1997), os tratamentos UC e UEE foram superiores a UK, não diferindo de UEC, UN e USNP, os quais também atingiram teores médios mais adequados que UT e Controle (Tabela 4). Ambas avaliações se tornam complementares e semelhantes, devido ao teor de N se correlaciona positivamente com a quantidade de clorofila no tecido vegetal (Barros *et al.*, 2017). Assim, o melhor aproveitamento de N para a produção de área foliar deve-se ao fornecimento pleno, em fontes sólidas, devido à

provável menor perda por erosão e lixiviação, e incorporação dos fertilizantes nos dias posteriores à adubação de cobertura (Bramorski *et al.*, 2015), ao passo que fontes de liberação controlada apresentam maior controle sobre lixiviação do N (Alva, 1992).

Tabela 4: Resultados das avaliações de ¹altura de plantas (m), ²altura de inserção de espiga (m), ³diâmetro de colmo (mm), ⁴SPAD, ⁵teor de nitrogênio foliar (g kg⁻¹).

Patos de Minas (MG), 2025

| Tratamentos | ¹ H planta m | ² H inserção m | ³ Colmo mm | ⁴ SPAD | ⁵ N Foliar g kg ⁻¹ |
|-------------|----------------------------|------------------------------|--------------------------|-------------------|---------------------------------------------|
| UC | 2,91 a | 1,52 ^{NS} | 25,83 ab | 64,65 ab | 19,43 a |
| UT | 2,75 ab | 1,12 | 22,9 b | 36,55 cd | 11,2 cd |
| UK | 2,92 a | 1,53 | 23,86 ab | 43,23 bcd | 13,55 bc |
| UEE | 3,08 a | 1,29 | 27,23 a | 53,95 abc | 18,24 a |
| UEC | 3,08 a | 1,51 | 25,89 ab | 60,53 ab | 16,59 ab |
| UN | 3,11 a | 1,68 | 25,25 ab | 67,55 a | 17,64 ab |
| USNP | 3,02 a | 1,59 | 24,71 ab | 56,73 abc | 17,01 ab |
| Controle | 2,32 b | 1,24 | 23,44 ab | 27,45 d | 8,68 d |
| CV (%) | 6,73 | 16,73 | 7,00 | 17,86 | 11,60 |
| DMS | 0,46 | 0,57 | 4,13 | 21,75 | 4,21 |

UC: Ureia Convencional 45% N; UT: 35% dose ureia diluída + 10g Ácido Húmico;

UK: 35% dose ureia diluída + 10g Ácido Húmico; UEE: Ureia 45% N + Tecnologia de Revestimento; UEC: Ureia 45% N + Tecnologia de Revestimento; UN: Ureia 45% N + Tecnologia de Revestimento; USNP: Ureia 45% N + Inibidor de Urease; Controle: 0% N.

¹⁻⁵Médias seguidas por letras distintas apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de significância.

^{NS}Médias não apresentam diferenças significativas entre si pelo teste F a 5% de significância.

Da mesma forma, a massa fresca de plantas foi influenciada pela adubação nitrogenada em cobertura. O tratamento UN foi superior aos tratamentos UT e Controle, que não diferiram entre si, enquanto os demais foram estatisticamente iguais ao UN e UT e superiores ao Controle (Tabela 5). Nesse sentido, a massa fresca de plantas se mostrou diretamente associada à altura de plantas e diâmetro de colmo, com resultados semelhantes, uma vez que estruturas maiores e de maior calibre apresentam maior biomassa, por consequência, inclusive de grande correlação com produtividade (Kelly; Crain; Raun, 2015). Máximo *et al.* (2019) também verificaram influência da adubação nitrogenada de cobertura na massa fresca de plantas.

Por sua vez, o número de fileiras não foi influenciado pela adubação nitrogenada em cobertura, não diferindo os tratamentos entre si (Tabela 5). Entre V6 e V10, o potencial do número de fileiras por espiga é determinado, momento em que se apresentou fornecimento suficiente de N via sistema e adubação de base, como a altura de inserção da espiga (Ciampitti *et al.*, 2011; Coelho *et al.*, 2002).

O número de grãos por fileira foi influenciado pelas fontes e adubação nitrogenada em cobertura. A sua ausência, no tratamento Controle, apresentou o menor número de grãos por fileira, não diferindo de UT e USNP, sendo inferior aos demais. O tratamento UEE foi superior aos tratamentos UT e Controle, não diferindo dos demais (Tabela 5). Essa característica é diretamente influenciada pela disponibilidade de N no

solo no período de VT, onde há máxima absorção e demanda de N e define-se o potencial de grãos por fileira na espiga (Coelho, 2007; Ciampitti *et al.*, 2011), indicando o melhor fornecimento e aproveitamento de N nas fontes UEE, UC, UK, UEC, UN e USNP, com influência hídrica.

O número de grãos por espiga foi influenciado diretamente por fontes nitrogenadas, bem como em relação ao tratamento controle. Apresentaram maior quantidade de grãos por espiga os tratamentos UC e UEE em relação a UT, UK e Controle, não diferindo dos demais (Tabela 5). Por se tratar de uma relação direta entre número de fileiras e número de grãos por fileira, depende diretamente de ambos, equilibrando seus resultados. Pessim, Marciano e Farinelli (2021) e Batista *et al.* (2017) também verificaram influência da adubação nitrogenada em cobertura no número de grãos por espiga, sendo este inferior no tratamento Controle.

A massa de mil grãos não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos, indicando a não influência da adubação nitrogenada em cobertura, seja por sua presença, seja por fontes utilizadas, para essa característica (Tabela 5). Pessim, Marciano e Farinelli (2021) e Batista *et al.* (2017) também verificaram a não influência da adubação nitrogenada em cobertura para a massa de mil grãos, característica essa que é influenciada, conforme esses autores, além da adubação nitrogenada, por genótipo e condições climáticas durante o enchimento de grãos, de modo que houve déficit hídrico para absorção de nutrientes durante essa fase, em fevereiro.

Tabela 5: Resultados das avaliações de ⁶massa fresca de plantas (kg), ⁷número de fileiras, ⁸número de grãos por fileira, ⁹número total de grãos por espiga, ¹⁰massa de mil grãos (g). Patos de Minas (MG), 2025

| Tratamentos | ⁶ MFPL kg | ⁷ Fileiras ----- un | ⁸ Grãos/Fileira ----- | ⁹ Grãos/Espiga | ¹⁰ Massa de mil grãos g |
|-------------|-------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|------------------------------------------|
| UC | 0,943 ab | 16 ^{NS} | 35,00 ab | 560,00 a | 280,02 ^{NS} |
| UT | 0,770 bc | 14,75 | 27,63 bc | 409,38 bc | 249,23 |
| UK | 0,831 ab | 14,75 | 32,25 ab | 473,75 ac | 276,65 |
| UEE | 0,889 ab | 15,25 | 36,75 a | 562,00 a | 277,58 |
| UEC | 0,974 ab | 14,75 | 35,00 ab | 516,25 ab | 277,32 |
| UN | 1,059 a | 15,25 | 35,13 ab | 528,63 ab | 276,65 |
| USNP | 0,926 ab | 14,75 | 31,38 abc | 462,63 ab | 256,93 |
| Controle | 0,539 c | 14,00 | 22,63 c | 319,13 c | 243,72 |
| CV (%) | 12,58 | 6,87 | 11,69 | 11,27 | 6,93 |
| DMS | 0,26 | 2,44 | 8,87 | 128,09 | 43,94 |

UC: Ureia Convencional 45% N; UT: 35% dose ureia diluída + 10g Ácido Húmico;

UK: 35% dose ureia diluída + 10g Ácido Húmico; UEE: Ureia 45% N + Tecnologia de

Revestimento; UEC: Ureia 45% N + Tecnologia de Revestimento; UN: Ureia 45% N + Tecnologia de Revestimento; USNP: Ureia 45% N + Inibidor de Urease; Controle: 0% N.

⁶⁻¹⁰Médias seguidas por letras distintas apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de significância.

^{NS}Médias não apresentam diferenças significativas entre si pelo teste F a 5% de significância.

O teor de N no grão diferiu entre as fontes utilizadas. O tratamento UEE foi superior, em níveis, aos tratamentos UT, UK e Controle, não diferindo dos demais (Tabela 6). Este em questão está intimamente ligado à extração e aproveitamento do N conforme índices nutricionais, absorção e translocação ao longo do ciclo do milho (Coelho, 2002), com teores obtidos médios superiores àqueles observados por Rawal *et al.* (2024), de 15 g kg⁻¹. Da mesma maneira, calculados pelo teor de N no grão (Farinelli; Lemos, 2010), os níveis proteicos sofreram influência de uso de fontes de adubação nitrogenada em cobertura. Exatamente como anteriormente, o tratamento UEE foi superior, em níveis, aos tratamentos UT, UK e Controle, não diferindo dos demais (Tabela 6). Desse modo, UEE, UC, UEC, UN e USNP apresentaram performance semelhante quanto ao fornecimento de N e influência sobre o ciclo da cultura.

A produtividade apresentou influência direta da adubação nitrogenada em cobertura, bem como pelo uso de fontes distintas. Os tratamentos UC, UEE, UEC, UN e USNP foram superiores aos tratamentos UT e Controle, não diferindo de UK, que, por sua vez, foi semelhante ao UT e superior ao Controle (Tabela 6). As condições ambientais de precipitação após a adubação de cobertura contribuíram para ótima performance de fertilizantes sólidos, convencionais, com revestimento ou com inibidor de urease, aliado a sua incorporação, conforme Cantarella (2023), com chuvas acima de 10 mm, de horas a sete dias após a aplicação a lanço. Petean *et al.* (2019) não verificaram diferenças de produtividade no milho entre fontes de ureia revestida com polímeros, do mesmo modo que Almeida (2016) apresentou uma série de resultados positivos para produtividade com o uso dessas tecnologias, em cenários diferentes, conforme período de aplicação em cobertura e condições edafoclimáticas.

A extração de N, calculada através da produtividade, apresentou diferenças diante do uso de adubação nitrogenada em cobertura. Da mesma forma, os tratamentos UC, UEE, UEC, UN e USNP foram superiores aos tratamentos UT e Controle, não diferindo de UK, que, por sua vez, foi semelhante ao UT e superior ao Controle (Tabela 6). Nesse sentido, 85,99 kg ha⁻¹ de N foi extraído pela cultura fornecido apenas via sistema, teor suficiente para desenvolvimento inicial do milho até seu florescimento, mas insuficiente para completar o ciclo de forma eficiente (Coelho *et al.*, 2002). No entanto, o fertilizante UEE promoveu o efeito “priming”, que estimula a mineralização de matéria orgânica do solo, sendo extraídos valores superiores ao seu fornecimento via fertilizante e via sistema, com valores de recuperação de N considerados altos para a cultura do milho no Brasil (Cantarella, 2007).

Tabela 6: Resultados das avaliações de ¹¹teor de nitrogênio nos grãos (g kg⁻¹), ¹²teor de proteína nos grãos (g kg⁻¹), ¹³produtividade total de grãos (kg ha⁻¹), ¹⁴extração de nitrogênio (kg ha⁻¹). Patos de Minas (MG), 2025

| | ¹¹ N Grão | ¹² Proteína | ¹³ Produtividade | ¹⁴ Extração |
|-------------|----------------------|------------------------|-----------------------------|------------------------|
| Tratamentos | g kg ⁻¹ | | kg ha ⁻¹ | |
| UC | 17,71 ab | 110,69 ab | 7.992,64 a | 158,90 a |
| UT | 15,37 bc | 96,03 bc | 5.098,20 bc | 101,35 bc |
| UK | 15,16 bc | 94,72 bc | 7.201,26 ab | 143,16 ab |
| UEE | 18,24 a | 113,97 a | 9.727,03 a | 193,37 a |
| UEC | 16,91 abc | 105,66 abc | 8.183,36 a | 162,69 a |
| UN | 17,54 ab | 109,59 ab | 8.931,03 a | 177,55 a |
| USNP | 17,08 abc | 106,75 abc | 8.660,56 a | 172,17 a |
| Controle | 14,56 c | 91,00 c | 4.325,23 c | 85,99 c |
| CV (%) | 6,79 | 6,79 | 15,40 | 15,39 |
| DMS | 2,67 | 16,68 | 2.744,91 | 54,56 |

UC: Ureia Convencional 45% N; UT: 35% dose ureia diluída + 10g Ácido Húmico;

UK: 35% dose ureia diluída + 10g Ácido Húmico; UEE: Ureia 45% N + Tecnologia de Revestimento; UEC: Ureia 45% N + Tecnologia de Revestimento; UN: Ureia 45% N + Tecnologia de Revestimento; USNP: Ureia 45% N + Inibidor de Urease; Controle: 0% N.

¹¹⁻¹⁴Médias seguidas por letras distintas apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de significância.

A exportação de N, calculada a partir da produtividade e teor de N no grão, apresentou influência quanto à adubação em cobertura e em relação às fontes utilizadas. O tratamento UEE obteve índices mais elevados de exportação que UT, UK e Controle. Do mesmo modo, UK foi semelhante aos demais, em níveis (Tabela 7). Coelho *et al.* (2022) também verificaram diferenças na exportação de N diante da adubação nitrogenada, a qual está intimamente ligada ao teor de N nos grãos.

A eficiência na extração do N, comparada em subtração à média do tratamento controle, onde não houve aplicação de 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura, diferiu entre as fontes testadas. O tratamento UK foi superior a UC, UT, UEC, UN, USNP e Controle, sendo semelhante a UEE (Tabela 7). Um detalhe importante a se considerar, para UT e UK, a dose estabelecida de 100 kg ha⁻¹, no uso das fontes, foi de 35% de ureia diluída junto ao ácido húmico (Tabela 2), influenciando diretamente essa relação.

Em geral, fertilizantes fluidos apresentam menores perdas por volatilização de amônia, levando a maior eficiência, em certa medida, ao passo que se torna mais suscetível a perdas por lixiviação e escoamento superficial por serem solúveis (Cantarella, 2007). Ao mesmo tempo, ácidos húmicos podem estimular o sistema radicular a absorver e reter melhor os nutrientes e metabolizá-los, em especial o N, conferindo maior eficiência no seu uso aplicado em cobertura (Nardi *et al.*, 2002). Da mesma forma, a eficiência na exportação do N, comparada em subtração à média do tratamento controle, onde não houve aplicação de N em cobertura, diferiu entre as fontes testadas. Os tratamentos UK, UEE, UN e USNP foram superiores ao Controle, enquanto UC, UT e UEC não diferiram do Controle (Tabela 7). Isso se deve especialmente ao alto

coeficiente de variação, decorrente da alta variabilidade dos resultados dentro das médias observadas.

Houve diferenças de eficiência agrônômica diante do uso de fontes na adubação nitrogenada em cobertura, e com relação a sua ausência, de forma a verificar a melhor performance por kg de N aplicado (Tabela 7). Já, para o índice de eficiência agrônômica, o uso de fontes apresentou resultados distintos, com referência nos tratamentos Controle e Convencional (UC). Para ambos, o tratamento UK foi semelhante a UEE e superior aos demais, sendo que somente UT não diferiu do tratamento Controle. Coelho *et al.* (2022) também verificaram a influência da adubação nitrogenada em cobertura no milho para esses quesitos.

Houve efeito da adubação nitrogenada em cobertura em todas as características, com exceção de altura de inserção de espiga, número de fileiras e massa de mil grãos. A adubação nitrogenada influenciou positivamente as avaliações de altura de plantas, teor de clorofila e N foliar, massa fresca de plantas, número de grãos por fileira e por espiga, teor de proteína e N no grão, produtividade, extração e exportação de N, e suas eficiências, eficiência agrônômica e índice de eficiência agrônômica versus a não adubação, tratamento Controle.

Tabela 7: Resultados das avaliações de ¹⁵exportação de nitrogênio (kg ha⁻¹), ¹⁶eficiência na extração do nitrogênio, ¹⁷eficiência na exportação do nitrogênio (%), ¹⁸eficiência agrônômica (kg kg⁻¹) e ¹⁹índice de eficiência agrônômica (%). Patos de Minas (MG), 2025

| Tratamentos | ¹⁵ Exportação kg ha ⁻¹ | ¹⁶ Eficiência | ¹⁷ Eficiência | ¹⁸ EA kg kg ⁻¹ | ¹⁹ IEA % |
|-------------|-------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------------------|------------------------|
| | | Ext % | Exp | | |
| UC | 140,98 ab | 73 b | 78 ab | 37 b | 100 b |
| UT | 79,55 c | 68 bc | 71 ab | 34 bc | 93 bc |
| UK | 109,4 bc | 163 a | 133 a | 82 a | 224 a |
| UEE | 177,44 a | 107 ab | 114 a | 54 ab | 147 ab |
| UEC | 139,74 ab | 77 b | 77 ab | 39 b | 105 b |
| UN | 156,61 ab | 92 b | 93 a | 46 b | 126 b |
| USNP | 147,23 ab | 86 b | 84 a | 43 b | 118 b |
| Controle | 63,19 c | 0 c | 0 b | 0 c | 0 c |
| CV (%) | 17,42 | 35,85 | 42,48 | 35,86 | 35,86 |
| DMS | 52,41 | 71 | 82 | 36 | 97 |

UC: Ureia Convencional 45% N; UT: 35% dose ureia diluída + 10g Ácido Húmico;

UK: 35% dose ureia diluída + 10g Ácido Húmico; UEE: Ureia 45% N + Tecnologia de Revestimento; UEC: Ureia 45% N + Tecnologia de Revestimento; UN: Ureia 45% N + Tecnologia de Revestimento; USNP: Ureia 45% N + Inibidor de Urease; Controle: 0% N.

¹⁵⁻¹⁹Médias seguidas por letras distintas apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de significância.

EA = (PGcf - PGsf) / (QNa). EA: eficiência agrônômica, kg kg⁻¹; PGcf: produtividade de grãos com fertilizante nitrogenado; PGsf: produtividade de grãos sem fertilizante nitrogenado; QNa: quantidade de N aplicado, em kg.

IEA = (Pf - Pc) * 100 / (Pu - Pc). IEA: eficiência agrônômica, %; Pf: produtividade de grãos da fonte x; Pc: produtividade de grãos do tratamento controle; Pu: produtividade de grãos da ureia convencional.

4 CONCLUSÃO

As fontes sólidas, UC, UEE, UEC, UN e USNP, junto ao tratamento UK, fluido, apresentaram as melhores respostas, em geral, sendo semelhantes entre si, enquanto UT e Controle foram inferiores nas principais características avaliadas, como produtividade e eficiência agronômica.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. E. M. de. **Fertilizantes de eficiência aumentada: uso de ureia de liberação controlada ou com inibidores em sistemas agrícolas sustentáveis**. Palmas, TO: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2016. 28 p. (Documentos, 28).

ALVA, A. K. Differential leaching of nutrients from soluble vs. controlled-release fertilizers. **Environmental Management**, Lake Alfred, v. 16, n. 6, p. 769-776, nov. 1992. DOI: 10.1007/BF02645667.

ALVAREZ, V.; V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 25-32, 359 p.

BARROS, I. de; SANTOS, W. de M.; PACHECO, E. P.; SOUZA, H. N. **Índice SPAD como indicador da nutrição nitrogenada do milho em Argissolos dos Tabuleiros Costeiros**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Tabuleiros Costeiros, ISSN 1678-1961. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2017. 37 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1084661/1/BP129INACIOfinal.pdf>.

BATISTA, V. V.; ADAMI, P. F.; GIARETTA, R.; ROSA, L. C. da; BATTISTUZ, M.; LINK, L. Níveis de nitrogênio e seus efeitos sobre os componentes de rendimento e arquitetura de plantas no cultivo de milho. In: ENCONTRO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA (X EPCC), 2017, Maringá. **Anais eletrônicos...** Maringá: UNICESUMAR / Galoá Proceedings, 2017. Disponível em: <https://proceedings.science/epcc/trabalhos/niveis-de-nitrogenio-e-seus-efeitos-sob-os-componentes-de-rendimento-e-arquitetu?lang=pt-br>.

BRAMORSKI, J.; TRIVELIN, P. C. O.; CRESTANA, S. Perda de nitrogênio por erosão em solos mobilizados por preparo mecânico e sem mobilização, sob chuvas simuladas sucessivas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 4, p. 1204-1211, 1 jul. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/01000683rbcs20140521>.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Exportações Brasileiras: Milho**. Brasília, DF: MAPA, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/relacoes-internacionais/documentos/Milho.pdf>.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. 7, p. 375-470.

CANTARELLA, H. **Opções de fontes de nitrogênio para a agricultura brasileira**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2023. 30 p. (Documentos IAC, n. 120). ISSN 1809-7693. Disponível em: <https://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/arquivos/documentoiac120.pdf>.

CIAMPITTI, I. A.; ELMORE, R. W.; LAUER, J. **Estádios reprodutivos do milho: desenvolvimento do grão dentado e camada preta**. Tradução de Thais Albuquerque *et al.* Kansas: Kansas State University, 2011. Adaptado de: HOW a corn plant develops. Ames: Iowa State University, 1986 (Special Report, 48); CORN growth and development. Ames: Iowa State University, 2011 (PMR, 1009).

COELHO, A. E.; SANGOI, L.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; KUNESKI, H. F.; MARTINS JÚNIOR, M. C. Nitrogen use efficiency and grain yield of corn hybrids as affected by nitrogen rates and sowing dates in subtropical environment. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 46, e0210087, 2022. DOI: 10.36783/18069657rbcs20210087.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E.; PITTA, G. V. E.; ALVES, V. M. C.; HERNANI, L. C. **Cultivo do milho: nutrição e adubação**. Sete Lagoas: [s. n.], dez. 2002. ISSN 1679-0162.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E.; PITTA, G. V. E.; ALVES, V. M. C.; HERNANI, L. C. Nutrição e adubação do milho. In: CRUZ, J. C. (ed.). **Cultivo do milho**. 4. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. Cap. Fertilidade de solos, p. 131-157. (Sistemas de Produção, 1). Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/491015>.

COELHO, A. M. **Manejo da adubação nitrogenada na cultura do milho**. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, dez. 2007. Disponível em: D:\Publicações\2008\Circulares.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. **Companhia Nacional de Abastecimento**. Brasília, DF, v. 12, safra 2024/25, n. 4, quarto levantamento, jan. 2025. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>.

COSTA, F. M. P.; DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A.; BONNECARRERE, R. A. G.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Nitrogênio e produtividade de grãos de milho. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. (Eds.). **Milho: tecnologia e produção**. Piracicaba: ESALQ/USP/LVP, 2005. p. 118-128.

EKPA, O.; PALACIOS-ROJAS, N.; KRUSEMAN, G.; FOGLIANO, V.; LINNEMANN, A. R. Sub-Saharan African maize-based foods – processing practices, challenges and opportunities. **Food Reviews International**, v. 35, n. 7, p. 609–639, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1588290>.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Editores Técnicos: TEIXEIRA, P. C., DONAGEMMA, G. K., FONTANA, A., TEIXEIRA, W. G. 3 ed. rev. e ampl. Brasília, DF, 2017.

FAGAN, E. B.; DOURADO NETO, D.; RODRIGUES, J. D.; ONO, E. O.; REIS, M. R. dos. **Fisiologia Vegetal: fotossíntese, relações hídricas e nutrição mineral**. Piracicaba: Pecege Editora, 2022.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. In: SPARKS, D.L. (Ed.). **Advances in Agronomy**. San Diego: Elsevier Academic Press, 2005. v. 88, p. 97-185. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0065211305880046>.

FARINELLI, R.; LEMOS, L. B. Produtividade e eficiência agrônômica do milho em função da adubação nitrogenada e manejos de solo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 9, n. 2, p. 135-146, 2010. Disponível em: <https://rbms.abms.org.br/index.php/ojs/article/view/299>.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Brazilian Journal of Biometrics**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019. Disponível em: <https://biometria.ufla.br/index.php/bbj/article/view/450>.

GOOGLE. **Google Earth**. Disponível em: <https://earth.google.com/web/@-18.63121061,-46.12612811,827.01355171a,168.13727062d,35y,0h,0t,0r/data=ChYqEAgBEgoyMDE2LTEyLTMxGAFCAGgBMikKJwolCiExVGR2Q0NCNW1IUHFubG55cFhHcGJzR3YzcVdlcDUzVGggAToDCgEwQgIIAEoICJqapJEFEAE>.

IBGE. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola: julho 2025. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, Rio de Janeiro, 2025. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/44223-estimativa-de-julho-aponta-safra-recorde-de-340-5-milhoes-de-toneladas-em-2025-alta-de-16-3>.

IENSEN, R. E. **Relação entre erosão e declividade e as consequências erosivas na área do Morro do Cerrito em Santa Maria - RS** [monografia]. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2006. Orientador: Mauro Kumpfer Werlang. Defesa: 23 fev. 2006. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/2189/Iensen_Rosa_Elaine.pdf?sequence.

INMET. Gráficos Climatológicos – Estação Patos de Minas (83531). **Instituto Nacional de Meteorologia**. 2025. Disponível em: <https://clima.inmet.gov.br/GraficosClimatologicos/DF/83377>.

KELLY, J.; CRAIN, J.; RAUN, W. By-plant prediction of corn (*Zea mays* L.) grain yield using height and stalk diameter. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 46, n. 5, p. 707-718, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103624.2014.998340>.

KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 15, n. 3, p. 259-263, 2006. Disponível em: https://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/pdf/Paper_2006.pdf.

LE, L.; ZHANG, Y.; XU, G. How does nitrogen shape plant architecture? **Journal of Experimental Botany**, v. 71, n. 15, p. 4415–4427, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa190>.

LIU, G.; ZOTARELLI, L.; LI, Y.; DINKINS, D.; WANG, Q.; OZORES-HAMPTON, M. **Controlled-Release and Slow-Release Fertilizers as Nutrient Management Tools**. Gainesville: University of Florida Institute of Food and Agricultural Sciences, 2021. Disponível em: <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/HS1255>.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. 7, p. 1-64.

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

MÁXIMO, P. J. M.; PINTO, A. A.; CÂMARA, F. T.; MOTA, A. M. D.; & NICOLAU, F. E. A. Adubação nitrogenada em cobertura em dois cultivares de milho no Cariri-CE. **Revista de Agricultura Neotropical**, 6 (1), 23-28, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.32404/rean.v6i1.2561>.

NARDI, S. *et al.* Physiological effects of humic substances on higher plants. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 34, n. 11, p. 1527-1536, 2002. Disponível em: https://www.bing.com/search?pglt=297&q=NARDI%2C+S.+et+al.+Physiological+effects+of+humic+substances+on+higher+plants.+Soil+Biology+%26+Biochemistry%2C+v.+34%2C+n.+11%2C+p.+1527-1536%2C+2002.&cvid=577546a06e254b9cb5efe2af522f755a&gs_lcrp=EgRIZGdIKgYIABBFgDkyBggAEEUYOdIBCDEwNDdqMGoxqAIAAsAI&FORM=ANNTA1&PC=DCTS.

OLIVEIRA, D. T. M.; ANDRADE, C. L. L. de; CABRAL FILHO, F. R.; TEIXEIRA, M. B.; FERREIRA, T. M. Avaliação biométrica do uso de diferentes fontes de nitrogênio no milho safrinha. **Brazilian Journal of Science**, Rio Verde, v. 2, n. 1, p. 63-71, 2023. DOI: <https://doi.org/10.14295/bjs.v2i1.252>.

OLIVEIRA, R. R. de; CRUZ, E. de S.; MATOS, A. de O. Eficiência relativa de fontes de nitrogênio. In: GOEDERT, W. J.; DIAS FILHO, F. A. (Ed.). **Relatório bienal (1984/1985): convênio EMBRAPA/PETROFÉRTIL**. Brasília, DF: EMBRAPA: PETROFÉRTIL, 1986. p. 43-45. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/957922>.

PESSIM, A.; MARCIANO, L. O.; FARINELLI, R. Produtividade e eficiência de uso de nitrogênio no milho safrinha (Yield and the nitrogen use efficiency in maize crop off-season). **Ciência e Cultura**, Barretos, v. 17, art. e211710, 2021. DOI: <https://doi.org/10.4322/1980-0029.122021>. Disponível em: https://www.unifeb.edu.br/uploads/final_rcc122021_PT.pdf.

PETEAN, C. C.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; GALINDO, F. S.; BUZZETTI, S.; MALMONGE, J. A.; MALMONGE, L. F. Polímeros orgânicos com ureia dissolvida e doses de nitrogênio no milho. **Revista de Ciências Agrárias (Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences)**, UFRA, v. 62, n. 18, 2019.

RANUM, P.; PEÑA-ROSAS, J. P.; GARCIA-CASAL, M. N. Global maize production, utilization, and consumption. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1312, n. 1, p. 105–112, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/nyas.12396>.

RAWAL, V.; ANSARI, M. W.; YADAV, D. K.; KUMAR. Nitrogen use efficiency in maize as influenced by varying levels of nitrogen and its split application. **International Journal of Agronomy**, v. 2024, p. 1-12, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1155/2024/4104123>.

RIBEIRO, D. Processo de Haber-Bosch. **Revista de Ciência Elementar**, v. 1, n. 01, p. 29, 2013.

SANGOI, L.; ALMEIDA, M. L. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio para a cultura do milho num solo com alto teor de matéria orgânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 1, p. 13-24, 1994.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p. Disponível em: <https://www.agroapi.cnptia.embrapa.br/portal/assets/docs/SiBCS-2018-ISBN-9788570358004.pdf>.

SILVA, E. C. *et al.* Doses e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em plantio direto sobre Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 353-362, 2005.

SILVA, F. C. da (org.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p. ISBN 978-85-7383-430-7.

SOUZA, F. H. Q. *et al.* Doses de nitrogênio e modos de aplicação de polímeros orgânicos com ureia dissolvida na cultura do milho. **Revista Cultura Agronômica**, Ilha Solteira - SP, v. 25, n. 4, p. 361-372, 2016. DOI: <https://doi.org/10.32929/2446-8355.2016v25n4p361-372>.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Tradução: Alexandra Antunes Mastroberti et al.; revisão técnica: Paulo Luiz de Oliveira. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. ISBN 978-85-8271-367-9.

TRENKEL, M. E. **Slow and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers**: An Option for Enhancing Nutrient Use Efficiency in Agriculture. Paris: International Fertilizer Industry Association, 2010. 167 p. Disponível em: http://repo.pertis.ac.id/1628/1/2010_Trenkel_slow%20release%20book.pdf.

USDA FOREIGN AGRICULTURAL SERVICE. **Corn**: world production. Washington, D.C.: USDA, 2025. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/data/production/commodity/0440000>.

VALDERRAMA, M.; BUZZETTI, S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; BENETT, C. G. S.; ANDREOTTI, M. Adubação nitrogenada na cultura do milho com ureia revestida por diferentes fontes de polímeros. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 2, p. 659-673, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n2p659>.

VAN RAIJ, B. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420 p.

ZONTA, E.; SATAFANATO, J. B.; PEREIRA, M. G. Fertilizantes minerais, orgânicos e organominerais. In: BORGES, A. L. *et al.* **Recomendações de calagem e adubação para culturas agrícolas no Brasil**. Embrapa, 2021. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1134679/1/cap14-livro-RecomendacaoCalagemAdubacao-AnaLuciaBorges-AINFO.pdf>.

ZOTARELLI, L.; CARDOSO, E. G.; PICCININ, J. L.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; TORRES, E.; ALVES, B. J. R. Calibração do medidor de clorofila Minolta SPAD-502 para avaliação do conteúdo de nitrogênio do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 9, p. 1117-1122, set. 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/gP8tSzmXGWsL69LGwGQSBDp/?lang=pt>.

Potencial inseticida de *Bacillus thuringiensis* no manejo sustentável de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em culturas agrícolas

Insecticidal potential of Bacillus thuringiensis in the sustainable management of Spodoptera frugiperda (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in agricultural crops

MARIELLI DE CAMARGOS RESENDE

Discente de Ciências Biológicas (UNIPAM)

mariellicamargos@unipam.edu.br

ELISA QUEIROZ GARCIA

Professora orientadora (UNIPAM)

elisaqg@unipam.edu.br

Resumo: *Bacillus thuringiensis* (Bt) é uma bactéria entomopatogênica com alto potencial para o controle de *Spodoptera frugiperda*, uma das pragas agrícolas mais prejudiciais ao cultivo de milho, soja e algodão no Brasil. Este estudo teve como objetivo avaliar a eficácia de duas cepas de Bt (S1450 e S1457) no controle biológico de lagartas de *S. frugiperda* em laboratório. O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, com sete tratamentos (seis concentrações de esporos e controle) e três repetições. Avaliações de mortalidade foram realizadas diariamente durante sete dias após a exposição inicial. Os resultados mostraram que a cepa S1450, nas concentrações de 1×10^8 e 1×10^7 esporos/mL, apresentou taxas de mortalidade de 90% a 100%, significativamente superiores às demais concentrações. Já a cepa S1457 mostrou menor eficiência, com taxas de mortalidade entre 20% e 70% nas mesmas concentrações. Concluiu-se que a cepa S1450 é mais eficaz no controle de *S. frugiperda*, sugerindo sua aplicabilidade em programas de manejo sustentável de pragas agrícolas.

Palavras-chave: bioensaio; controle biológico; microbiologia agrícola; sustentabilidade.

Abstract: *Bacillus thuringiensis* (Bt) is an entomopathogenic bacterium with high potential for the control of *Spodoptera frugiperda*, one of the most damaging agricultural pests affecting maize, soybean, and cotton crops in Brazil. This study aimed to evaluate the efficacy of two Bt strains (S1450 and S1457) in the biological control of *S. frugiperda* larvae under laboratory conditions. The experiment was carried out in a completely randomized design with seven treatments (six spore concentrations and a control) and three replications. Mortality assessments were performed daily for seven days after initial exposure. The results showed that strain S1450, at concentrations of 1×10^8 and 1×10^7 spores/mL, exhibited mortality rates of 90% to 100%, significantly higher than the remaining concentrations. Strain S1457 showed lower efficiency, with mortality rates ranging from 20% to 70% at the same concentrations. It was concluded that strain S1450 is more effective in controlling *S. frugiperda*, indicating its potential applicability in sustainable pest management programs.

Keywords: bioassay; biological control; agricultural microbiology; sustainability.

1 INTRODUÇÃO

Bacillus thuringiensis (Bt) é uma bactéria entomopatogênica amplamente utilizada no controle biológico de pragas agrícolas, devido à sua seletividade e ao baixo impacto ambiental (Lenina *et al.*, 2014). Essa bactéria é conhecida por produzir proteínas tóxicas, especialmente as proteínas Cry, que atuam de forma específica em diversas espécies de insetos-praga, como a *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), uma das principais pragas nas culturas de milho, algodão e soja no Brasil (Cruz, 1995; Figueiredo *et al.*, 2005; Melatti *et al.*, 2005). Essas proteínas Cry se ligam a receptores específicos no trato digestivo das lagartas, causando a formação de poros na parede intestinal, o que leva à paralisia e morte do inseto (Bravo *et al.*, 2011). A especificidade de *B. thuringiensis* torna seu uso uma alternativa eficaz e segura ao controle químico, com vantagens na redução dos impactos ambientais e na preservação de inimigos naturais (Crickmore *et al.*, 1998; Corrêa, 2012).

S. frugiperda, conhecida como lagarta-do-cartucho, é uma praga que causa danos significativos às culturas, com perdas consideráveis na produção. Ao se alimentar das folhas, especialmente nas fases iniciais do ciclo da planta, a praga pode destruir plantas jovens e comprometer o desenvolvimento de culturas mais maduras, reduzindo tanto a produtividade quanto a qualidade dos grãos (Pavarini *et al.*, 2023). O uso intensivo de inseticidas químicos no manejo de *S. frugiperda* tem sido associado ao desenvolvimento de resistência e à diminuição da eficácia desses produtos, tornando urgente a busca por alternativas sustentáveis para o controle da praga (Carvalho *et al.*, 2013).

Neste contexto, o uso de cepas de *B. thuringiensis* oferece um potencial promissor, com cepas diferentes apresentando níveis variados de eficácia, dependendo das concentrações e da capacidade de produção das proteínas Cry específicas (Bravo *et al.*, 2011; Vachon *et al.*, 2012). Este estudo visa comparar a eficácia de duas cepas de *B. thuringiensis*, S1450 e S1457, no controle de *S. frugiperda* em condições de laboratório, com o objetivo de identificar o potencial de controle biológico de cada cepa e contribuir para o desenvolvimento de estratégias de manejo integrado de pragas mais sustentáveis.

2 MATERIAL E MÉTODOS

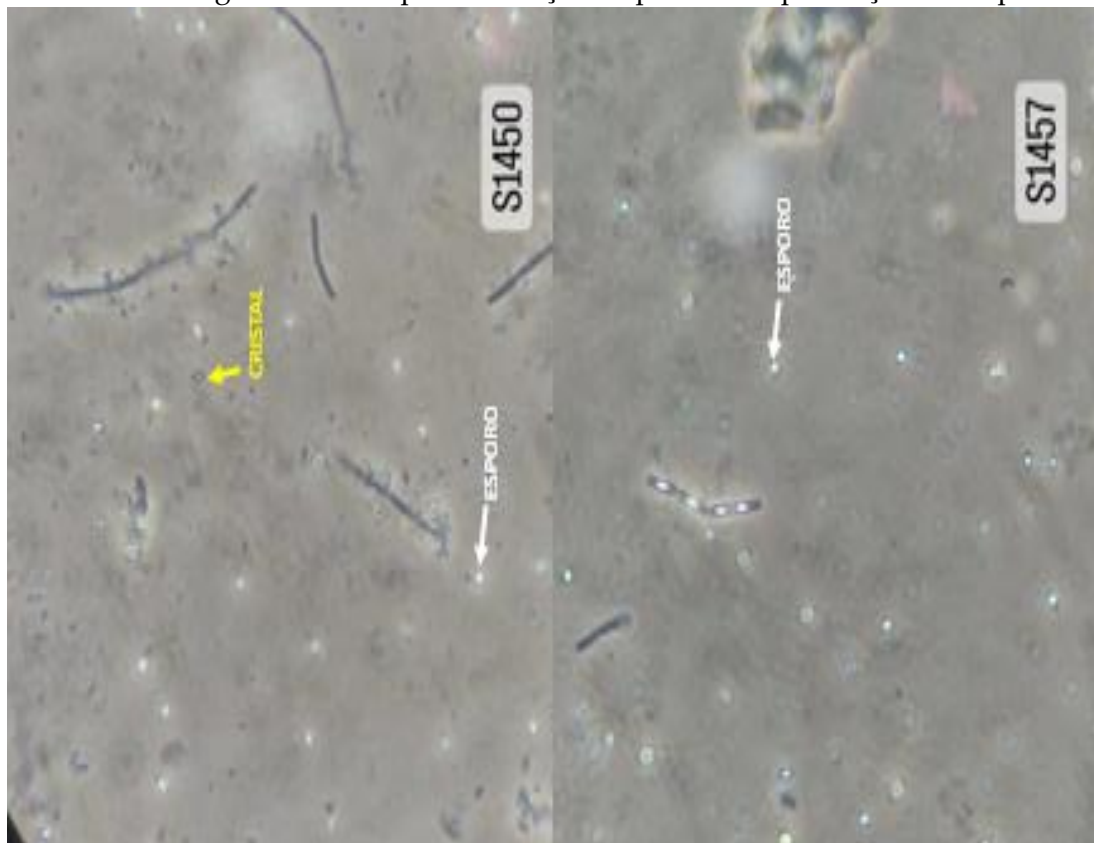
2.1 ORIGEM DAS CEPAS E LAGARTAS

As cepas S1450 e S1457 de *Bacillus thuringiensis* e as 450 lagartas de segundo instar (Figura 1) de *Spodoptera frugiperda* utilizadas no experimento foram obtidas do acervo do Laboratório de Pesquisas Biológicas, Aditivos e Protetores, da empresa NOOA Ciência e Tecnologia, localizada em Patos de Minas, Minas Gerais. As cepas foram preservadas em papel filtro e mantidas em condições específicas até o momento da utilização nos bioensaios.

2.2 CULTIVO E FERMENTAÇÃO DOS ISOLADOS BACTERIANOS

As cepas S1450 e S1457 de *Bacillus thuringiensis*, preservadas em papel filtro, foram cultivadas em meio líquido específico para *Bacillus* sp., composto por açúcar (4,0 g), proteína de soja (2,4 g), amido de milho (0,8 g), extrato de levedura (2,4 g), sulfato de amônio (0,3 g), fosfato monobásico de potássio (0,6 g), fosfato bifásico de potássio (0,6 g) e solução de sais (10 mL). Os inóculos foram mantidos sob agitação em shaker a 200 rpm e a 30°C por três dias, período durante o qual o desenvolvimento e a esporulação das cepas foram monitorados por meio de microscopia para garantir a esporulação completa. Após essa fase, a pureza e a concentração dos inóculos foram avaliadas para assegurar a qualidade e, então, os inóculos foram armazenados para uso nos bioensaios.

Figura 1: Microscopia óptica dos inóculos das cepas S1450 e S1457 de *Bacillus thuringiensis* (aumento de 1000x, sem corantes), evidenciando esporos liberados e cristais. Imagem utilizada para avaliação da pureza e esporulação das cepas.



2.3 PREPARO DA DIETA DOS INSETOS UTILIZADA NO BIOENSAIO

A dieta artificial para os bioensaios com *Spodoptera frugiperda* foi preparada seguindo as diretrizes de Cruz (1995). A composição da dieta incluiu feijão carioca (68,75 g), levedo de cerveja (21,04 g), gérmen de trigo (33 g), ágar-ágar (12,5 g), água deionizada (1000 mL) e ácido ascórbico (2,12 g). Todos os ingredientes, exceto o ácido ascórbico, foram homogeneizados em liquidificador. Em seguida, a mistura foi autoclavada a

121°C por 30 minutos para esterilização completa. Após a autoclavagem, o ácido ascórbico foi adicionado dentro de uma capela de fluxo laminar, utilizando um fouet esterilizado para assegurar a homogeneização. A dieta foi então distribuída em potes plásticos de 30 mL, que foram expostos à luz UV por 20 minutos até a solidificação completa, garantindo condições assépticas para o bioensaio.

2.5 REALIZAÇÃO DO BIOENSAIO

O bioensaio de patogenicidade das cepas de *Bacillus thuringiensis* foi realizado sob condições assépticas e controladas, com o objetivo de avaliar a eficácia de cada concentração no controle de *Spodoptera frugiperda*. Seguindo o protocolo de Becheleni *et al.* (2017), o bioensaio ocorreu em uma capela de fluxo laminar para garantir a esterilidade dos materiais e reduzir ao máximo a contaminação externa.

Inicialmente, a dieta artificial preparada foi autoclavada a 121°C por 30 minutos. Após a autoclavagem, a dieta foi distribuída em potes plásticos de 30 mL e exposta à luz UV por 20 minutos para assegurar a esterilização final e solidificação da dieta.

As cepas de *B. thuringiensis* (S1450 e S1457) foram diluídas em série para criar seis diferentes concentrações de esporos, variando de 1×10^8 a 1×10^2 esporos/mL, além do controle, que recebeu apenas água destilada estéril. Cada diluição foi aplicada sobre a superfície da dieta com o auxílio de uma micropipeta, depositando 160 μ L da solução, garantindo que a camada superior fosse coberta uniformemente, sem formação de gotas, para permitir contato direto das lagartas com o tratamento.

Após a secagem dos tratamentos, dez lagartas de segundo instar de *S. frugiperda* foram cuidadosamente transferidas para cada pote com o auxílio de um pincel nº 00 esterilizado, evitando estresse mecânico e contaminação. Cada tratamento foi replicado em três potes, totalizando 30 unidades experimentais por cepa e concentração.

Os potes foram selados com tampas bem ajustadas para impedir a saída das lagartas e mantidos em uma sala de bioensaios com controle de temperatura a $25 \pm 3^\circ\text{C}$ e fotoperíodo de 12 horas. A avaliação de mortalidade das lagartas foi realizada 24 horas após o início do experimento, seguida de observações diárias durante sete dias consecutivos. Em cada avaliação, o número de lagartas vivas e mortas foi registrado para análise.

As lagartas sobreviventes foram transferidas diariamente para novos potes contendo dieta artificial não tratada, evitando a exposição contínua aos esporos de *B. thuringiensis* e garantindo que os resultados de mortalidade fossem atribuídos ao tratamento inicial.

2.6 ANÁLISE DE DADOS

Os dados obtidos no bioensaio foram analisados utilizando métodos estatísticos descritivos e inferenciais. A mortalidade das lagartas em cada tratamento foi avaliada ao longo dos sete dias, com comparações transversais entre as diferentes concentrações de esporos das cepas S1450 e S1457. Para a análise inferencial, aplicou-se o teste de Kruskal-Wallis, seguido do pós-teste de Dunn para comparações múltiplas, conforme

recomendado por Ayres *et al.* (2007). Foi adotado um nível de significância de 5% ($\alpha=0,05$) para rejeição da hipótese nula.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste estudo, a eficácia das cepas *Bacillus thuringiensis* (Bt) S1450 e S1457 no controle de *Spodoptera frugiperda* foi avaliada através de bioensaios em condições laboratoriais. Os dados obtidos destacaram diferenças significativas entre as duas cepas em relação à mortalidade das lagartas, dependendo da concentração do inóculo e do período de exposição.

A cepa S1450 apresentou alta eficiência, especialmente nas concentrações de 1×10^8 e 1×10^7 esporos/mL, alcançando taxas de mortalidade entre 90% e 100% (Tabela 1). A mortalidade foi observada a partir do 1º dia após a exposição (1DAE), com diferenças estatisticamente significativas em comparação às demais concentrações ($p < 0,05$), mantendo-se elevada até o 7º dia (7DAE). Esse comportamento destaca o potencial da S1450 como uma ferramenta eficaz no manejo de pragas agrícolas, corroborando estudos que evidenciam a ação tóxica das proteínas Cry sobre o intestino médio de insetos-praga.

Tabela 1: Mortalidade (%) de lagartas de *Spodoptera frugiperda* ao longo de sete dias após o tratamento com diferentes concentrações da cepa S1450 de *Bacillus thuringiensis*.

As concentrações variam de 1×10^8 a 1×10^2 esporos/mL, incluindo um controle sem tratamento. Os valores representam a média de mortalidade diária acumulada, com avaliação diária para cada concentração ao longo do período experimental. As diferenças de mortalidade entre as concentrações foram analisadas estatisticamente pelo teste de Kruskal-Wallis, seguido de pós-teste de Dunn para comparações múltiplas ($p < 0,05$)

| Concentração | | Resultado do experimento com a cepa S1450 | | | | | | | |
|-------------------|---------|-------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| esporo/ml | | 0DAE | 1DA E | 2DA E | 3DA E | 4DA E | 5DA E | 6DA E | 7DA E |
| Controle | | | | | | | | | |
| | Média | 0,0 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| | DP | 0,0 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| | Mediana | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 1x10 ⁸ | | | | | | | | | |
| | Média | 0,0 | 9,0 | 9,0 | 9,7 | 9,7 | 9,7 | 9,7 | 9,7 |
| | DP | 0,0 | 1,4 | 1,4 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| | Mediana | 0,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 |
| 1x10 ⁷ | | | | | | | | | |
| | Média | 0,0 | 9,0 | 9,7 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 |
| | DP | 0,0 | 1,4 | 0,5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | Mediana | 0,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 |
| | p-valor | ns | ns | ns | Ns | ns | ns | ns | Ns |

POTENCIAL INSETICIDA DE *BACILLUS THURINGIENSIS* NO MANEJO SUSTENTÁVEL
DE *SPODOPTERA FRUGIPERDA* (J.E. SMITH) (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) EM CULTURAS AGRÍCOLAS

| | | | | | | | | | |
|-------------------------|---------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| 1x10⁶ | | | | | | | | | |
| Média | 0,0 | 1,3 | 2,0 | 3,3 | 3,7 | 3,7 | 3,7 | 3,7 | |
| DP | 0,0 | 0,9 | 1,6 | 1,2 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | |
| Mediana | 0,0 | 2,0 | 2,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | |
| p-valor | ns | <i>p</i> <0,0 5 | <i>p</i> <0,0 5 | <i>p</i> <0,0 5 | <i>p</i> <0,0 5 | <i>p</i> <0,0 5 | <i>p</i> <0,0 5 | <i>p</i> <0,0 5 | <i>p</i> <0,05 |
| 1x10⁵ | | | | | | | | | |
| Média | 0,0 | 1,3 | 2,0 | 3,3 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | |
| DP | 0,0 | 1,2 | 0,8 | 2,1 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | |
| Mediana | 0,0 | 1,0 | 2,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | |
| p-valor | ns | <i>p</i> <0,0 5 | <i>p</i> <0,0 5 | <i>p</i> <0,0 5 | <i>p</i> <0,0 5 | <i>p</i> <0,0 5 | <i>p</i> <0,0 5 | <i>p</i> <0,0 5 | <i>p</i> <0,05 |
| 1x10⁴ | | | | | | | | | |
| Média | 0,0 | 0,3 | 0,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | |
| DP | 0,0 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | |
| Mediana | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | |
| p-valor | ns | <i>p</i> <0,0 5 | <i>p</i> <0,0 5 | <i>p</i> <0,0 5 | <i>p</i> <0,0 5 | <i>p</i> <0,0 5 | <i>p</i> <0,0 5 | <i>p</i> <0,0 5 | <i>p</i> <0,05 |
| 1x10³ | | | | | | | | | |
| Média | 0,0 | 0,0 | 0,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | |
| DP | 0,0 | 0,0 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | |
| Mediana | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | |
| p-valor | ns | <i>p</i> <0,0 5 | <i>p</i> <0,0 5 | <i>p</i> <0,0 5 | <i>p</i> <0,0 5 | <i>p</i> <0,0 5 | <i>p</i> <0,0 5 | <i>p</i> <0,0 5 | <i>p</i> <0,05 |
| 1x10² | | | | | | | | | |
| Média | 0,0 | 0,3 | 1,0 | 1,7 | 2,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | |
| DP | 0,0 | 0,5 | 0,8 | 1,2 | 1,7 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | |
| Mediana | 0,0 | 0,0 | 1,0 | 2,0 | 3,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | |
| p-valor | ns | <i>p</i> <0,0 5 | <i>p</i> <0,0 5 | <i>p</i> <0,0 5 | <i>p</i> <0,0 5 | <i>p</i> <0,0 5 | <i>p</i> <0,0 5 | <i>p</i> <0,0 5 | <i>p</i> <0,05 |
| p-valor | 0,9999 | 0,002 6 | 0,001 5 | 0,001 4 | 0,000 8 | 0,000 5 | 0,000 5 | 0,000 5 | 0,00 05 |

Por outro lado, a cepa S1457 demonstrou uma eficiência inferior. Mesmo nas concentrações mais altas, as taxas de mortalidade variaram entre 20% e 70% (Tabela 2). Não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre as concentrações testadas ($p>0,05$), sugerindo uma menor toxicidade desta cepa em relação à S1450. Essa diferença pode ser explicada pela ausência de proteínas Cry específicas para os receptores intestinais de *S. frugiperda**, conforme apontado por estudos anteriores.

Tabela 2: Mortalidade (%) de lagartas de *Spodoptera frugiperda* ao longo de sete dias após o tratamento com diferentes concentrações da cepa S1457 de *Bacillus thuringiensis*.

As concentrações variam de 1×10^8 a 1×10^2 esporos/mL, incluindo um controle sem tratamento. Os valores representam a média de mortalidade diária acumulada, com avaliação diária para cada concentração ao longo do período experimental. As diferenças de mortalidade entre as concentrações foram analisadas estatisticamente pelo teste de Kruskal-Wallis, seguido de pós-teste de Dunn para comparações múltiplas ($p < 0,05$)

| Concentração | | Resultado do experimento com a cepa S1457 | | | | | | | |
|-----------------|---------|-------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| (esporos/mL) | | 0DAE | 1DAE | 2DAE | 3DAE | 4DAE | 5DAE | 6DAE | 7DAE |
| Controle | | | | | | | | | |
| | Média | 0,0 | 2,0 | 2,0 | 3,0 | 3,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 |
| | DP | 0,0 | 2,8 | 2,8 | 2,2 | 2,2 | 1,4 | 1,4 | 1,4 |
| | Mediana | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 2,0 | 2,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 |
| 1×10^8 | | | | | | | | | |
| | Média | 0,0 | 2,3 | 2,7 | 3,3 | 3,7 | 4,0 | 4,0 | 4,0 |
| | DP | 0,0 | 2,6 | 2,5 | 2,6 | 2,5 | 2,2 | 2,2 | 2,2 |
| | Mediana | 0,0 | 1,0 | 2,0 | 2,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 |
| 1×10^7 | | | | | | | | | |
| | Média | 0,0 | 2,0 | 2,3 | 2,7 | 2,7 | 2,7 | 3,3 | 3,3 |
| | DP | 0,0 | 1,4 | 1,2 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 |
| | Mediana | 0,0 | 1,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 4,0 | 4,0 |
| | p-valor | ns | Ns | ns | ns | ns | ns | ns | Ns |
| 1×10^6 | | | | | | | | | |
| | Média | 0,0 | 1,7 | 2,3 | 2,7 | 2,7 | 2,7 | 2,7 | 2,7 |
| | DP | 0,0 | 2,4 | 2,1 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 |
| | Mediana | 0,0 | 0,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 |
| | p-valor | ns | Ns | ns | ns | ns | ns | ns | Ns |
| 1×10^5 | | | | | | | | | |
| | Média | 0,0 | 0,7 | 1,0 | 2,3 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 |
| | DP | 0,0 | 0,5 | 0,8 | 1,2 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| | Mediana | 0,0 | 1,0 | 1,0 | 2,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 |
| | p-valor | ns | Ns | ns | ns | ns | ns | ns | Ns |
| 1×10^4 | | | | | | | | | |
| | Média | 0,0 | 1,7 | 2,0 | 2,7 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 |
| | DP | 0,0 | 1,7 | 1,6 | 1,7 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 |
| | Mediana | 0,0 | 1,0 | 2,0 | 2,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 |
| | p-valor | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | Ns |
| 1×10^3 | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|-------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1x10 ² | Média | 0,0 | 1,7 | 2,0 | 2,3 | 2,3 | 2,3 | 2,3 | 2,3 |
| | DP | 0,0 | 1,7 | 1,6 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| | Mediana | 0,0 | 1,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 |
| | p-valor | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | Ns |
| | Média | 0,0 | 1,9 | 2,1 | 2,2 | 2,3 | 2,3 | 2,4 | 2,4 |
| | DP | 0,0 | 1,6 | 1,6 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 |
| | Mediana | 0,0 | 1,8 | 2,2 | 2,7 | 2,9 | 3,0 | 3,1 | 3,1 |
| | p-valor | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | Ns |
| | p-valor | 0,9999 | 0,7703 | 0,7464 | 0,7512 | 0,5925 | 0,3686 | 0,4057 | 0,4057 |
| | | | | | | | | | |

Os gráficos de mortalidade (Figuras 2 e 3) reforçam que a cepa S1450 teve um impacto mais rápido e consistente na redução populacional das lagartas, enquanto a S1457 apresentou uma resposta limitada, mesmo em condições de concentração ideal. Esses resultados indicam a importância de selecionar cepas específicas para o controle de pragas-alvo, como ressaltado por Praça *et al.* (2007) e Becheleni *et al.* (2017).

Figura 2: Taxa média de mortalidade (%) de lagartas de *Spodoptera frugiperda* ao longo de sete dias após exposição à cepa S1450 de *Bacillus thuringiensis* em diferentes concentrações de esporos (1x10⁸ a 1x10¹² esporos/mL). As avaliações de mortalidade foram realizadas diariamente, e as diferenças entre as concentrações foram analisadas pelo teste de Kruskal-Wallis, com pós-teste de Dunn (p<0,05)

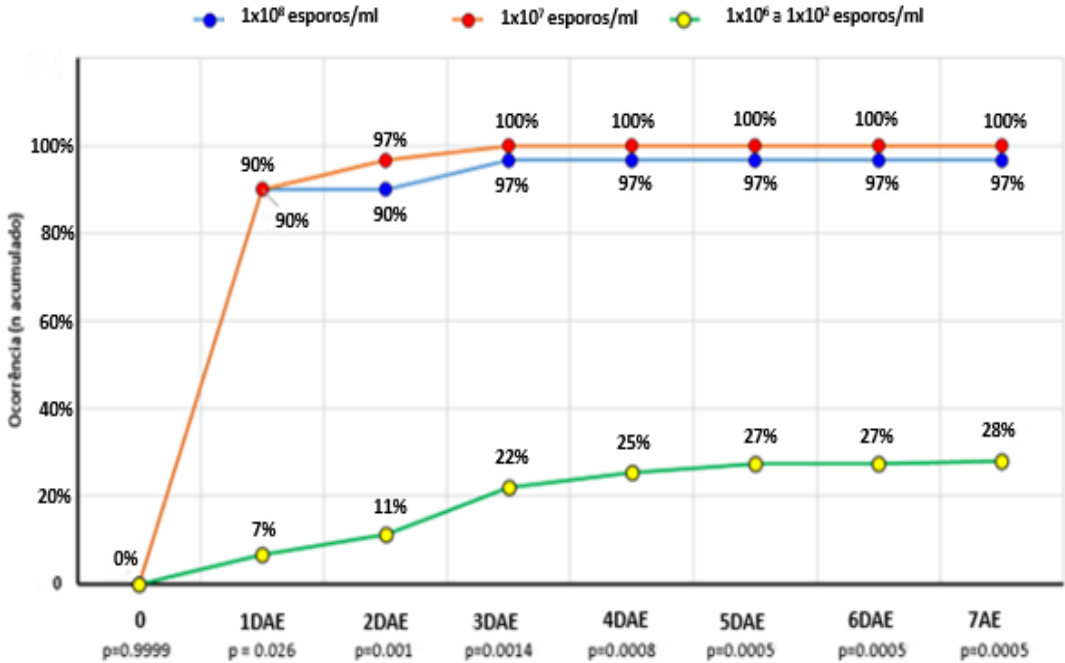
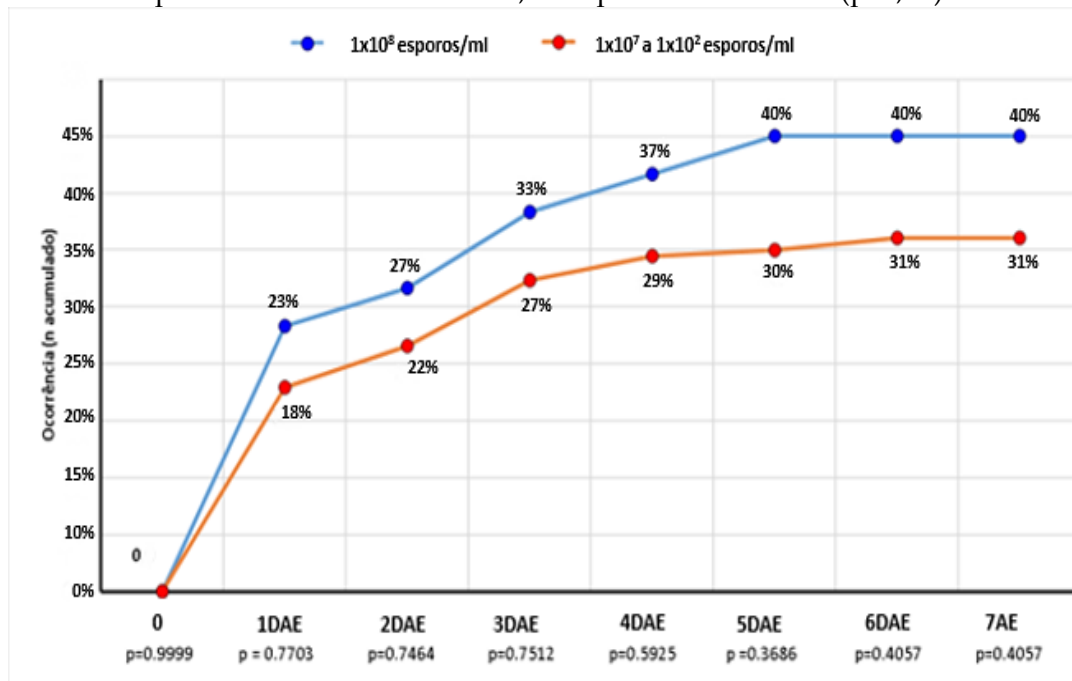


Figura 3: Taxa média de mortalidade (%) de lagartas de *Spodoptera frugiperda* ao longo de sete dias após exposição à cepa S1457 de *Bacillus thuringiensis* em diferentes concentrações de esporos (1×10^8 a 1×10^2 esporos/mL). As avaliações de mortalidade foram realizadas diariamente, e as diferenças entre as concentrações foram analisadas pelo teste de Kruskal-Wallis, com pós-teste de Dunn ($p < 0,05$)



Além disso, a variação na eficiência entre as cepas pode estar associada à presença de outras toxinas, como Vip e Cyt, ou à interação com fatores genéticos dos isolados bacterianos, como discutido por Polanczyk e Alves (2003), Lee *et al.* (2003) e Costa (2009). A presença dessas toxinas pode influenciar diretamente a toxicidade do inóculo e a sua aplicação prática.

Conclui-se que a cepa S1450 apresenta maior potencial para o controle de *S. frugiperda* em condições laboratoriais, destacando-se como uma alternativa promissora para programas de manejo integrado de pragas. No entanto, estudos adicionais em condições de campo são necessários para validar sua eficácia e explorar o impacto em organismos não-alvo. Por outro lado, a cepa S1457, embora menos eficiente, ainda pode ter aplicações específicas dependendo do contexto agrícola e das espécies-alvo. Esses achados reforçam a necessidade de estudos contínuos para otimizar o uso de *Bacillus thuringiensis* e desenvolver estratégias de controle biológico mais eficazes e sustentáveis.

4 CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo demonstram que a cepa S1450 de *Bacillus thuringiensis* é altamente eficaz no controle de *Spodoptera frugiperda*, especialmente nas concentrações de 1×10^8 e 1×10^7 esporos/mL, que apresentaram taxas de mortalidade superiores a 90%. Em comparação, a cepa S1457 mostrou-se menos eficiente, com mortalidade máxima de 70% nas concentrações mais elevadas. Esses achados reforçam o potencial da cepa S1450 como uma alternativa viável e sustentável aos inseticidas

químicos no manejo de pragas agrícolas, oferecendo uma solução eficaz para a redução de *S. frugiperda* em cultivos de milho, soja e algodão.

A alta especificidade e a letalidade da cepa S1450 indicam seu potencial para desenvolvimento em formulações comerciais de bioinseticidas, promovendo práticas agrícolas mais sustentáveis e com menor impacto ambiental. Recomenda-se, no entanto, que futuros estudos avaliem a eficácia dessa cepa em condições de campo, considerando fatores ambientais que possam influenciar sua ação, e explorem estratégias de integração com outros métodos de controle biológico para otimizar o manejo integrado de pragas.

REFERÊNCIAS

- AYRES M.; AYRES JUNIOR M.; AYRES D. L.; SANTOS A. A. S. **Bioestat**: aplicações estatísticas nas áreas das ciências bio-médicas. 2007. 70p. ONG Mamirauá, Belém. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Alex-De-Assis-Dos-Santos-2/publication/263608962_BIOESTAT_-_aplicacoes_estatisticas_nas_areas_das_Ciencias_Bio-Medicas/links/02e7e53b598e69ebfe000000/BIOESTAT-aplicacoes-estatisticas-nas-areas-das-Ciencias-Bio-Medicas.pdf.
- BECHELENI F. R.; SALES C. M. L.; CAMPOLINO M. L. **Aplicação biotecnológica da bactéria *Bacillus thuringiensis* no controle biológico da lagarta do cartucho *Spodoptera frugiperda***. 2017. p 12. Disponível em: <http://jornalold.faculdadecienciasdavid.com.br/index.php/RBCV/article/view/295#:~:text=O%20intuito%20do%20presente%20tabalho%20foi%20avaliar%20e,da%20Embrapa%20Milho%20e%20Sorgo%20em%20Sete%20Lagoas%20FMG>.
- BRAVO, A.; LIKITVIVATANAVONG, S.; GILL S. S.; SOBERÓN, M. *Bacillus thuringiensis*: A Story of a Successful Bioinsecticide. **Insect Biochemistry and Molecular Biology** vol 41 (7) 423-431. 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0965174811000543?via%3Dihub>.
- CARVALHO, R. A.; OMOTO, C.; FIELD, L. M.; WILLIAMSON, M. S.; BASS, C. Investigating the Molecular Mechanisms of Organophosphate and Pyrethroid Resistance in the Fall Armyworm *Spodoptera frugiperda*. **Plos one**, v. 8, n. 4, p.62268, 2013. Public Library of Science. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0062268>.
- CORREIA, R. F. T. **Avaliação da toxicidade de proteínas Cry e Cyt de *Bacillus thuringiensis* subsp. *israelensis* para diferentes linhagens de células de inseto e de mamífero**. Tese de doutorado – Universidade de Brasília. 127p. 2012. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/10935>.

COSTA, J. R. V. **Predição in vitro da atividade tóxica de isolados de *Bacillus thuringiensis* Berliner e efeito sinérgico no controle de larvas de *Aedes aegypti* (L.) (Diptera: Culicidae).** 93p. Jaboticabal: FCAV-Unesp Tese de doutorado. 2009.

Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/items/c2e7f753-78bd-452e-b071-d8241d280f5e>.

CRICKMORE, N.; ZEIGLER, D. R.; FEITELSON, J.; SCHNEPF, E.; VAN RIE, J.; LERECLUS D.; BAUM J.; DEAN D. H. Revision of the Nomenclature for the *Bacillus thuringiensis* Pesticidal Crystal Proteins. **Microbiology and Molecular Biology Reviews** 62:<https://doi.org/10.1128/mmbr.62.3.807-813.1998>. 1998. Disponível em: <https://journals.asm.org/doi/full/10.1128/mmbr.62.3.807-813.1998>.

CRUZ, I. **A lagarta-do-cartucho na cultura do milho.** Sete Lagoas: EMBRAPA: CNPSM, 45. 1995. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/475779>.

FIGUEIREDO, M. L. C.; PENTEADO-DIAS, A. M.; CRUZ, I. Danos provocados por *Spodoptera frugiperda* na Produção de Matéria Seca e nos Rendimentos de Grãos, na Cultivado Milho Maria. **Embrapa**, dezembro, p. 1–6, 2005. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/489728>.

LEE, M. K.; WALTERS, F. S.; HART, H.; PALEKAR, N.; CHEN, J.S. The mode of action of the *Bacillus thuringiensis* vegetative insecticidal protein Vip3A differs from that of Cry1Ab Endotoxin. **Appl. Environ. Microbiol.** 69: 4648-4657. 2003. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12902253/>.

LENINA, N. K.; NAVEENKUMAR, A.; SOZHAVENDAN, A. E.; BALAKRISHNAN, N.; BALASUBRAMANI, V.; UDAYASURIYAN, V. Characterization of parasporin gene harboring Indian isolates of *Bacillus thuringiensis*. **Biotech**, v. 4, n. 5, p. 545-551. 2014. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28324389/>>.

MELATTI, V.; BATISTA, A.; DEMO, C.; PRAÇA, L.; BROD, C.; MONNERAT, R. G. Determinação da susceptibilidade de *Spodoptera frugiperda* a diferentes subespécies de *Bacillus thuringiensis*. **EMBRAPA Recursos Genéticos**. 2005. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/187098>>.

PAVARINI, R.; LOURENÇO, A. M. A.; NEVES, G. D.; PAVARINI, G. M. P. Bioatividade de extratos aquosos de folhas de plantas na biologia de *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae). **BioAssay**, v. 18. 2023. Disponível: <https://www.bioassay.org.br/index.php/bioassay/article/view/ba18002/214>.

POLANCZYK, R.; ALVES, S. *Bacillus thuringiensis*: Uma breve revisão. **Agrociência**. 7: 1-10. 2003. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/291896406_Bacillus_thuringiensis_Uma_breve_revisao.

PRAÇA, L. B.; SOARES, E. M.; MELATTI, V. M.; MONNERAT, R. G. *Bacillus thuringiensis* Berliner (Eubacteriales: Bacillaceae): aspectos gerais, modo de utilização. **EMBRAPA**. 2007. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/189667/1/doc239.pdf>.

VACHON, V.; LAPRADE, R.; SCHWARTZ, J. Current Models of the Mode of Action of *Bacillus thuringiensis* Insecticidal Crystal Proteins: a Critical Review. **Journal of Invertebrate Pathology**, 111(1), 1-12. 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022201112001358>.

Análise do vigor de sementes de duas variedades de *Sorghum bicolor* L. através do teste de frio

Analysis of seed vigor of two Sorghum bicolor L. varieties using the cold test

LETÍCIA ALVES ZACARIAS

Discente de Agronomia (UNIPAM)

leticiaaz@unipam.edu.br

WELLINGTON FERRARI DA SILVA

Professor orientador (UNIPAM)

wellingtonferrari@unipam.edu.br

Resumo: O sorgo (*Sorghum bicolor* L.) é uma cultura altamente adaptada a condições de altas temperaturas e déficit hídrico, sendo essencial a utilização de sementes de elevada qualidade fisiológica para garantir um bom estabelecimento inicial da lavoura. Este trabalho teve como objetivo avaliar o vigor de sementes de duas variedades de sorgo (SHS 570 e SHS 410) por meio do teste de frio, considerando diferentes temperaturas e tempos de exposição. O experimento foi conduzido no Laboratório Núcleo de Pesquisa e Análise de Sementes do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em um esquema fatorial de $2 \times 2 \times 2$, sendo duas variedades de sorgo (SHS 570 e SHS 410), com duas temperaturas (8 e 15 °C) e dois tempos de exposição (7 e 10 dias), com quatro repetições de 50 sementes por tratamento, com um total de 32 parcelas experimentais. Após o teste foram avaliados a porcentagem de plântulas normais, o comprimento da parte aérea e o comprimento da raiz. As médias foram submetidas à análise de variância através do programa computacional SISVAR, e posteriormente submetidas ao teste de Tukey, a nível de 5% de significância. Os resultados indicaram que a variedade SHS 570 destacou-se pelo maior vigor, apresentando maior porcentagem de plântulas normais e maior desenvolvimento da parte aérea e do sistema radicular e demonstrando maior tolerância ao estresse causado por baixas temperaturas. Em contrapartida, a variedade SHS 410 mostrou-se mais sensível ao frio. A condição térmica de 8 °C proporcionou a melhor distinção do potencial fisiológico entre os genótipos, enquanto o tempo de exposição (7 e 10 dias) não influenciou os resultados. Concluiu-se que a variedade SHS 570 apresentou maior vigor e tolerância ao frio em comparação à SHS 410. A temperatura de 8 °C foi mais eficiente para discriminar o potencial fisiológico das sementes, enquanto o tempo de exposição (7 ou 10 dias) não afetou significativamente os resultados.

Palavras-chave: sorgo; temperatura; condições adversas; germinação; qualidade fisiológica.

Abstract: Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) is a crop highly adapted to high temperatures and water deficit, and the use of seeds with high physiological quality is essential to ensure proper initial stand establishment. This study aimed to evaluate the vigor of seeds from two sorghum varieties (SHS 570 and SHS 410) using the cold test, considering different temperatures and exposure times. The experiment was conducted at the Seed Research and Analysis Laboratory of the Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). The experimental design was completely randomized in a $2 \times 2 \times 2$ factorial arrangement, consisting of two sorghum varieties (SHS 570 and SHS 410), two temperatures (8 and 15 °C), and two exposure periods (7 and 10 days), with

four replications of 50 seeds per treatment, totaling 32 experimental units. After the test, normal seedling percentage, shoot length, and root length were evaluated. Means were subjected to analysis of variance using SISVAR software and then compared by Tukey's test at a 5% significance level. The results indicated that SHS 570 exhibited higher vigor, with greater percentages of normal seedlings and greater development of shoot and root systems, demonstrating higher tolerance to cold stress. In contrast, SHS 410 showed greater sensitivity to low temperatures. The 8 °C condition provided the best discrimination of physiological potential between genotypes, whereas exposure time (7 or 10 days) did not influence the results. It was concluded that the SHS 570 variety presented greater vigor and cold tolerance compared with SHS 410. The temperature of 8 °C was more effective for distinguishing seed physiological potential, while exposure time did not significantly affect the outcomes.

Keywords: sorghum; temperature; adverse conditions; germination; physiological quality.

1 INTRODUÇÃO

O sorgo (*Sorghum bicolor* L.) é uma gramínea pertencente à família Poaceae, com origem no continente africano e em algumas regiões da Ásia. Destaca-se por sua elevada tolerância à seca e a altas temperaturas, características que a tornam uma cultura estratégica para regiões com escassez de recursos hídricos (Carvalho *et al.*, 2000). Atualmente, o sorgo é o quinto cereal mais cultivado do mundo (FAO, 2009), sendo amplamente utilizado tanto na alimentação humana quanto animal.

No Brasil, durante a safra 2023/2024 a produção de sorgo alcançou aproximadamente 5 milhões de toneladas, posicionando o país como o quarto produtor mundial, atrás apenas dos Estados Unidos, Nigéria e Índia (USDA, 2024). Os Estados de Goiás e Minas Gerais concentram cerca de 60% da produção nacional (IBGE, 2025), refletindo a importância econômica e agrícola da cultura no cenário brasileiro.

O uso de sementes com qualidade superior é um dos principais fatores para sucesso na implantação de qualquer cultura, pois favorece o desenvolvimento uniforme e satisfatório das plantas, mesmo diante de variações no ambiente, o que permite a cultivar atingir sua capacidade produtiva máxima (Barbosa *et al.*, 2012). Entre os atributos de qualidade, destacam-se a pureza genética, a sanidade e o vigor de germinação das sementes, aspectos essenciais a serem avaliados, tanto que, após a colheita, as sementes estão sujeitas a transformações físicas, bioquímicas e funcionais que podem comprometer seu desempenho no campo (Rodrigues *et al.*, 2020).

Nesse contexto, a análise da qualidade fisiológica das sementes, especialmente por meio do teste de germinação, tem se consolidado como uma ferramenta eficiente para o controle da qualidade e da comercialização. Ao longo do tempo, esse teste passou por aprimoramentos, alcançando níveis satisfatórios de confiabilidade nos resultados obtidos (McDonald, 1993). Contudo, o teste de germinação, embora fundamental, nem sempre é suficiente para detectar diferenças sutis no desempenho de sementes, especialmente sob condições adversas de armazenamento ou campo (Carvalho; Nakagawa, 2000).

Assim, torna-se imprescindível complementar essa análise com testes de vigor, os quais permitem uma avaliação mais abrangente da capacidade de desempenho das sementes. Entre os testes de vigor, o teste de frio se destaca por sua eficácia em simular

condições adversas, como baixas temperaturas e alta umidade, possibilitando a identificação de lotes com maior potencial fisiológico (Dias *et al.*, 2006). Esse teste avalia a resistência das sementes ao estresse térmico, sendo aquelas que apresentam melhor desempenho consideradas mais vigorosas e aptas a garantir uma boa implantação da lavoura (Peres, 2010).

Para culturas adaptadas a clima quente, como o sorgo, a exposição a baixas temperaturas representa um fator limitante ao crescimento inicial. No Brasil, essa cultura está presente em regiões com temperatura média superior a 20° C (EMBRAPA, 2022). Em função dessa sensibilidade térmica, o teste de frio se apresenta como uma ferramenta promissora não apenas para avaliar o vigor das sementes, mas também para selecionar genótipos mais tolerantes ao frio. Essa abordagem tem sido aplicada com sucesso em outras espécies de cereais, como arroz (Najeeb *et al.*, 2021) e trigo (Ahad *et al.*, 2023), contribuindo para o entendimento dos mecanismos fisiológicos de resistência ao estresse térmico e para o aprimoramento genético de cultivares.

Este trabalho teve como objetivo avaliar o vigor de sementes de duas variedades de *Sorghum bicolor* L. por meio da aplicação do teste de frio, considerando diferentes faixas de temperatura e tempos de exposição.

2 METODOLOGIA

O experimento foi realizado no Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), no Laboratório Núcleo de Pesquisas e Análise de Sementes. O período do desenvolvimento prático ocorreu durante os meses de maio a julho de 2025. Foram utilizadas sementes de sorgo com as seguintes variedades: SHS 570 híbridos forrageiro e SHS 410 um híbrido grânífero. Os testes foram submetidos aos métodos seguintes.

Para determinar o teor de umidade, foi utilizado um medidor de umidade do modelo GEHAKA G800 para as duas variedades de sorgo. Esse equipamento realiza a leitura automática da umidade, com os resultados expressos em porcentagem (base úmida).

O teste de germinação padrão foi conduzido com quatro repetições de 50 sementes por variedade. As sementes foram dispostas em rolos de papel germitest previamente umedecidos com um volume de água equivalente a 2,5 vezes o peso do substrato seco. Após a semeadura, os rolos foram identificados, embalados em sacos plásticos e transferidos para uma câmara germinadora com temperatura constante de 25 °C. As avaliações de germinação foram realizadas no 4° e 10° dia após a semeadura, considerando-se a porcentagem de plântulas normais, conforme os critérios estabelecidos pelas Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009).

Para a avaliação do vigor, foi empregado o teste de frio, com o mesmo arranjo experimental do teste de germinação (4 repetições de 50 sementes). As sementes foram acondicionadas em rolos de papel germitest e, posteriormente, colocadas em sacos plásticos para evitar a perda de umidade. Os rolos foram submetidos a duas temperaturas distintas (8 e 15 °C) e a dois períodos de exposição (7 e 10 dias), conforme detalhado na Figura 1. Após o período de estresse térmico, os rolos foram transferidos para uma câmara germinadora ajustada à temperatura de 25 °C, onde permaneceram 7 dias. Os resultados incluíram a porcentagem de plântulas normais, o comprimento da

parte aérea e o comprimento das raízes, conforme metodologia descrita por Barros *et al.* (1999).

Figura 1: Distribuição dos tratamentos aplicados às variedades SHS 570 e SHS 410, indicando a temperatura (°C) e o tempo de exposição (dias) para cada combinação experimental. “Análise do vigor de sementes de duas variedades de *Sorghum bicolor* L. através do teste de frio”. Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM),

Minas Gerais

| Tratamento | Variedade | Temperatura (°C) | Tempos (dias) |
|------------|-----------|------------------|---------------|
| 1 | SHS 570 | 8 | 7 |
| 2 | SHS 570 | 15 | 10 |
| 3 | SHS 570 | 8 | 10 |
| 4 | SHS 570 | 15 | 7 |
| 5 | SHS 410 | 8 | 7 |
| 6 | SHS 410 | 15 | 10 |
| 7 | SHS 410 | 8 | 10 |
| 8 | SHS 410 | 15 | 7 |

O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, em um esquema fatorial de 2 x 2 x 2, sendo dois níveis variedades (SHS 570 e SHS 410), duas temperaturas (8 e 15 °C) e dois tempos de exposição (7 e 10 dias), totalizando oito tratamentos. Cada tratamento foi composto por quatro repetições, com um total de 32 parcelas experimentais.

Os dados foram submetidos pelo programa estatístico Sisvar, e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade (Ferreira, 2014).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os valores médios do teor de umidade e da porcentagem de germinação obtidos para as sementes das duas variedades de *Sorghum bicolor* L., SHS 570 e SHS 410. A análise dos dados de germinação revela que ambas as variedades apresentaram elevados índices germinativos, com SHS 570 atingindo 93% e a SHS 410, 90%. Esses resultados indicam que os lotes avaliados apresentam qualidade fisiológica satisfatória para os testes de vigor subsequentes. De acordo com Ramos *et al.* (2004), é recomendável que, em estudos de avaliação de vigor, os lotes de sementes utilizados apresentem percentuais de germinação semelhantes, preferencialmente superiores a 85%. Essa uniformidade é essencial para minimizar interferências nos testes e possibilitar a detecção precisa de diferenças relacionadas exclusivamente ao vigor das sementes.

Tabela 1: Percentuais médios de teor de umidade (TU) e germinação para sementes de sorgo. Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), Minas Gerais. “Análise do vigor de sementes de duas variedades de *Sorghum bicolor* L. através do teste de frio”.

| Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), Minas Gerais | | |
|---------------------------------------------------------------|--------|------------|
| Variedades | TU | Germinação |
| | (%) | |
| SHS 570 | 11,2 a | 93 a |
| SHS 410 | 10,8 a | 90 a |

Quanto ao teor de umidade, os valores obtidos foram de 11,2% para a variedade SHS 570 e 10,8% para a SHS 410, ambos dentro dos limites aceitáveis para a realização de testes fisiológicos. Segundo de Marcos Filho (1999) é essencial que as amostras utilizadas em testes apresentem níveis iniciais de umidade semelhantes, sendo admissíveis variações de até 1 a 2%. Essa uniformidade é fundamental para garantir que o processo de umedecimento ocorra de forma equilibrada, evitando interferências nos resultados causadas por diferentes graus de deterioração das sementes.

3.1 TESTE DE FRIO

Conforme os dados apresentados, evidenciou-se que a variedade SHS 570 registrou uma maior proporção de plântulas normais em comparação com a SHS 410, sob diferentes condições de temperatura e tempo de exposição. Não foram observadas diferenças significativas entre os períodos de exposição (7 e 10 dias) dentro de cada condição de temperatura e variedade, indicando que esse fator não alterou expressivamente o comportamento das sementes. Em relação às temperaturas, observou-se que a condição de 8 °C permitiu maior distinção entre as variedades, especialmente para a SHS 570, reforçando sua maior capacidade fisiológica de suportar ambientes com temperaturas reduzidas.

Na Tabela 2, estão apresentados os valores médios da porcentagem de plântulas normais computados após o teste de frio, conduzidos em duas temperaturas e dois períodos de exposição, permitindo a comparação entre as cultivares avaliadas.

Tabela 2: Médias de plântulas normais computadas, após o teste de frio, para duas temperaturas e dois períodos de exposição. “Análise do vigor de sementes de duas variedades de *Sorghum bicolor* L. através do teste de frio”.

Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), Minas Gerais

| Variedades | 8 °C | |
|------------|-----------------------|-----------------------|
| | 7 dias | 10 dias |
| SHS 570 | 30,75 Aa ¹ | 32,75 Aa ¹ |
| SHS410 | 13,75 Ba ¹ | 14,50 Ba ¹ |
| 15 °C | | |
| SHS 570 | 21,75 Aa ² | 22,50 Aa ² |
| SHS 410 | 12,25 Ba ¹ | 15,50 Ba ¹ |
| CV (%) | 23,44 | |
| DMS (%) | 3,52 | |

Desdobramento das variedades em cada nível de temperatura e tempo (médias seguidas de mesma letra maiúscula nas colunas). Desdobramento do tempo dentro de cada nível de variedades e temperatura (médias seguidas de mesma letra minúscula na linha).

Desdobramento de temperatura dentro de cada nível de cultivares e tempo (médias seguidas de mesmo número sobrescrito na coluna) não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p>0,05$).

As evidências observadas indicam que a importância da qualidade fisiológica das sementes como fator determinante para o desempenho inicial das plântulas sob condições adversas. Estudos anteriores, como os de Piana e Silva (1998), Tonin *et al.* (2000) e Braccini *et al.* (1996; 1998), demonstraram que variedades com sementes de melhor qualidade fisiológica tendem a apresentar maior tolerância a estresses ambientais. Assim, é plausível considerar que o melhor desempenho da variedade SHS 570 em ambientes com baixa temperatura pode estar associado a essa característica intrínseca, indicando seu potencial para uso em regiões ou épocas sujeitas a condições climáticas desfavoráveis. Essa correlação entre vigor fisiológico e resiliência ao estresse reforça a relevância da seleção criteriosa de variedades para garantir o sucesso da implantação da cultura.

O aumento do comprimento das plântulas a 15 °C indica que a temperatura menos adversa favoreceu processos metabólicos associados à emergência e ao crescimento inicial, refletindo maior vigor expressado no pós-frio. No entanto, a 8 °C, o estresse térmico limitou o alongamento, nivelando o desempenho das variedades e suprimindo diferenças genotípicas. A ausência de efeito significativo do tempo de exposição (7 e 10 dias) sugere que, em cada temperatura, o estresse imposto foi suficiente para discriminar o potencial fisiológico já aos 7 dias, e a extensão para 10 dias não acrescentou sensibilidade estatística. A melhor performance consistente da SHS 570 sobre a SHS 410 em 15 °C aponta para uma maior capacidade da SHS 570 de retomar o crescimento quando as condições térmicas são moderadas, característica desejável em ambientes sujeitos a frio transitório seguido de temperaturas mais amenas. Em conjunto, os resultados reforçam que a temperatura é o fator crítico para a expressão do vigor após o teste de frio, enquanto o tempo de exposição pode ser mantido no menor nível testado sem perda de capacidade discriminatória. Além disso, a SHS 570 apresenta maior vigor relativo que a SHS 410 quando a temperatura não é excessivamente restritiva.

Na Tabela 3, estão apresentados os resultados do comprimento da parte aérea, apurados após a influência dos diferentes intervalos de exposição e a baixas temperaturas.

Tabela 3. Comprimento da parte aérea de plântulas computadas, após o teste de frio, para duas temperaturas e dois períodos de exposição. “Análise do vigor de sementes de duas variedades de *Sorghum bicolor* L. através do teste de frio”.
Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), Minas Gerais

| Variedades | 8 °C | |
|------------|-----------------------|-----------------------|
| | 7 dias | 10 dias |
| SHS 570 | 10,93 Ab ¹ | 15,21 Aa ² |
| SHS410 | 9,76 Ab ¹ | 12,29 Ba ¹ |
| | 15 °C | |
| | 7 dias | 10 dias |
| SHS 570 | 11,91 Aa ¹ | 19,59 Aa ¹ |
| SHS 410 | 10,21 Ab ¹ | 13,41 Ba ¹ |
| CV (%) | 12,05 | |
| DMS (%) | 1,14 | |

Desdobramento das variedades em cada nível de temperatura e tempo (médias seguidas de mesma letra maiúscula nas colunas). Desdobramento do tempo dentro de cada nível de variedades e temperatura (médias seguidas de mesma letra minúscula na linha).

Desdobramento de temperatura dentro de cada nível de cultivares e tempo (médias seguidas de mesmo número sobrescrito na coluna) não diferem entre si pelo teste de Tukey (p>0,05).

A uma temperatura de 8 °C, o estresse provocado pelo frio reduziu o crescimento das plântulas, tornando o desempenho das variedades semelhante e dificultando a expressão de diferenças genéticas. Segundo Marcos-Filho (1999b), esse efeito ocorre porque as baixas temperaturas comprometem a absorção de nutrientes e retardam os processos fisiológicos associados ao desenvolvimento inicial. O sucesso de semeaduras realizadas em condições de baixa temperatura do solo depende da escolha de variedades com boa capacidade de estabelecimento inicial.

Nesse cenário, a variedade SHS 570 evidenciou desempenho expressivo, demonstrando capacidade de estabelecimento inicial mesmo sob condições de baixa temperatura, como em 8 °C. Esse comportamento indica maior adaptabilidade e resistência ao estresse térmico, atributos que se tornam estratégicos em situações de semeadura antecipada ou em ambientes com oscilações climáticas. Nesses casos, a eficiência fisiológica em temperaturas reduzidas é um fator decisivo para o êxito na emergência e desenvolvimento inicial da cultura. De acordo com Schaffasz *et al.* (2019), o sorgo apresenta sensibilidade significativa ao frio durante os estágios iniciais, sendo que variedades com maior eficiência fisiológica em temperaturas reduzidas tendem a apresentar melhor emergência e desenvolvimento inicial, como observado neste estudo.

A Tabela 4 apresenta os dados referentes ao comprimento das raízes, permitindo a análise dos efeitos dos diferentes períodos de exposição ao frio sobre o desenvolvimento radicular das plântulas.

Tabela 4. Resultado do comprimento da raiz de plântulas computadas, após o teste de frio, para duas temperaturas e dois períodos de exposição. “Análise do vigor de sementes de duas variedades de *Sorghum bicolor* L. através do teste de frio”.

Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), Minas Gerais

| Variedades | 8 °C | |
|------------|----------------------|-----------------------|
| | 7 dias | 10 dias |
| SHS 570 | 9,66 Ab ¹ | 16,39 Aa ¹ |
| SHS410 | 6,79 Bb ¹ | 9,26 Ba ¹ |
| 15 °C | | |
| SHS 570 | 9,83 Ab ¹ | 16,00 Aa ¹ |
| SHS 410 | 5,68 Bb ¹ | 9,39 Ba ¹ |
| CV (%) | 9,33 | |
| DMS (%) | 1,42 | |

Desdobramento das variedades em cada nível de temperatura e tempo (médias seguidas de mesma letra maiúscula nas colunas). Desdobramento do tempo dentro de cada nível de variedades e temperatura (médias seguidas de mesma letra minúscula na linha).

Desdobramento de temperatura dentro de cada nível de cultivares e tempo (médias seguidas de mesmo número sobrescrito na coluna) não diferem entre si pelo teste de Tukey (p>0,05).

Os dados apresentados indicam que o comprimento da raiz foi influenciado tanto pela variedade quanto pela temperatura e tempo de exposição ao frio. A variedade SHS 570 apresentou raízes de forma constante mais longas que a SHS 410, demonstrando maior vigor inicial. Nas duas variedades avaliadas, a ampliação do período de exposição de 7 para 10 dias promoveu um aumento expressivo no comprimento das raízes. Durante o período inicial de 7 dias, a temperatura demonstrou influência mais acentuada sobre a variedade SHS 410, indicando maior sensibilidade dessa variedade às condições de baixa temperatura. Esses resultados sugerem que a variedade SHS 570 possui maior tolerância ao estresse por frio, refletida em um melhor desenvolvimento radicular, especialmente com maior tempo de exposição.

De acordo com Magalhães, Durães e Schaffert (2000), o sistema radicular do sorgo apresenta profundidade e elevada ramificação, sendo fortemente influenciado pela temperatura do ar e pela disponibilidade de fotoassimilados. Variedades com maior desenvolvimento radicular tendem a apresentar melhor desempenho sob condições de estresse, evidenciado pelos resultados observados para a SHS 570.

Segundo os autores Hernández, Onofre e Cárdenas (2023), o sorgo aciona mecanismos fisiológicos e moleculares frente ao frio, como alterações na membrana celular, ajustes metabólicos e expressão de genes associados à tolerância térmica. Essas respostas explicam a capacidade de algumas variedades manterem o crescimento em condições menos favoráveis. No presente estudo, a SHS 570 apresentou maior comprimento radicular em todos os tratamentos, especialmente após dez dias de exposição, evidenciando maior vigor inicial e tolerância ao estresse térmico. Em contrapartida, a SHS 410 mostrou maior sensibilidade às baixas temperaturas, com redução expressiva no crescimento radicular já no período de sete dias de exposição.

4 CONCLUSÃO

Concluiu-se que a variedade SHS 570 apresentou maior vigor e tolerância ao frio em comparação à SHS 410. A temperatura de 8 °C foi mais eficiente para discriminar o potencial fisiológico das sementes, enquanto o tempo de exposição (7 ou 10 dias) não afetou significativamente os resultados.

REFERÊNCIAS

- AHAD, A.; GUL, A.; BATOOL, T. S.; HUDA, NOOR-UL; NASEEER, F.; SALAM, UZMA ABDUL; SALAM, MARIA ABDUL; ILYAS, MAHNOOR; UNAL, BENGU TURKYILMAZ; OZTURK, M. Molecular and genetic perspectives of cold tolerance in wheat. **Molecular Biology Reports**, v. 50, p. 6997-7015, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11033-023-08584-1>.
- BARBOSA, R. M.; SILVA, C. B. da.; MEDEIROS, M. A. de.; CENTURION, M. A. P. da. C.; VIEIRA, R. D. Condutividade elétrica em função do teor de água inicial de sementes de amendoim. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 1, p. 45-51, jan. 2012.
- BARROS, A. S.; DIAS, M. C. L.; CÍCERO, S. M. Teste frio. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina-PR: ABRATES, 1999. p. 5.1-5.1.
- BRACCINI, A. L.; RUIZ, H. A.; BRACCINI, M. C. L.; REIS, M. S. Germinação e vigor de sementes de soja sob estresse hídrico induzido por soluções de cloreto de sódio, manitol e polietileno glicol. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 18, n. 1, p. 10-16, 1996.
- BRACCINI, A. L.; REIS, M. S.; SEDIYAMA, C. S.; SEDIYAMA, T.; ROCHA, V. S. Influência do potencial hídrico induzido por polietilenoglicol na qualidade fisiológica de sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 9, p. 1451-1459, 1998.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 2009.
- CARVALHO, L. F. de; MEDEIROS-FILHO, S.; ROSSETTI, A. G.; TEÓFILO, E. M. Condicionamento osmótico em sementes de sorgo. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v. 22, n. 1, p. 185-192, 2000.
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4. ed. Jaboticabal: Funep, 2000.

DIAS, D. C. F. S.; BHERING, M. C.; TOKUHISA, D.; HILST, P. C. Teste de condutividade elétrica para avaliação do vigor de sementes de cebola. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 28, n. 1, p. 154-162, 2006.

EMBRAPA. **Sistema de produção**: cultivo do sorgo. 2 set. 2022. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/748792/1/Sorgo-Plantio>. 2025.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **FAO statistical database**. 2009. Disponível em: <https://www.fao.org>.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a guide for its bootstrap, procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, p. 109-112, 2014. ISSN 1413-7054.

HERNÁNDEZ, P. F. V.; ONOFRE, L. E. M; CÁRDENAS, F. F. R. Responses of sorghum to cold stress: a review focused on molecular breeding. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, 2023. DOI: 10.3389/fpls.2023.1124335.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Em abril, IBGE prevê safra de 328,4 milhões de toneladas para 2025**. Rio de Janeiro, 25 abr. 2025. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/43400-em-abril-ibge-preve-safra-de-328-4-milhoes-de-toneladas-para-2025>.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; SCHAFFERT, R. E. **Ecofisiologia**: sistema radicular. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2000. 24 p. (Circular Técnica, 28).

MARCOS-FILHO, J. Testes de vigor: importância e utilização. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA-NETO, J. B. (org.). **Vigor de sementes**: conceitos e testes. Londrina: ABRATES/Comitê de Vigor, 1999a. p. 1.1-1.21.

MARCOS-FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: KRZYZANOWSKI, F. C. *et al.* **Vigor de sementes**: conceitos e testes. Londrina: ABRATES, 1999b. p. 3.1-3.24.

McDONALD, M. B. The history of seed vigor testing. **Journal of Seed Technology**, East Lansing, v. 17, n. 2, p. 93-100, 1993.

NAJEEB, S., MAHENDER, A., ANANDAN, A., HUSSAIN, W., LI, Z.; ALI, J. Genetics and Breeding of Low-Temperature Stress Tolerance in Rice. **Rice Improvement**, 2021.

PERES, W. L. R. **Testes de vigor em sementes de milho**. 2010. 50 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias e Veterinárias) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2010.

PIANA, Z.; SILVA, W. R. Respostas de sementes de milho, com diferentes níveis de vigor, à disponibilidade hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 9, p. 1525–1531, 1998.

RAMOS, N.P.; FLOR, E.P.O.; MENDONÇA, E.A.F.; MINAMI, K. Envelhecimento acelerado em sementes de rúcula (*Eruca sativa* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 26, n. 1, p. 98-103, 2004.

RODRIGUES, G. B.; RESENDE, O.; SILVA, L. C. M.; FERREIRA JUNIOR, W. N. Physiological quality of graniferous sorghum seeds during storage **Research, Society and Development**, Rio Verde, v. 9, n. 6, e27963152, 2020.

SCHAFFASZ, A.; MELCHER, L.; RIEDE, C.; WINKLER, J.; MELCHER, P. Reproductive cold stress tolerance in sorghum F1 hybrids is a heterotic trait. **Agronomy**, v. 9, n. 9, p. 508, 2019. DOI: 10.3390/agronomy9090508.

TONIN, G. A.; CARVALHO, N. M.; KRONKA, S. N.; FERRAUDO, A. S. Influência do cultivar e do vigor no desempenho germinativo de sementes de milho em condições de estresse hídrico. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 22, n. 1, p. 276-279, 2000.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – FOREIGN AGRICULTURAL SERVICE.2024. **Commodity Production**. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/data/production/commodity/0410000>.

Distribuição e desenvolvimento da cultura do milho em função de velocidades de semeadura

Distribution and development of maize as a function of sowing speeds

TIAGO SILVA LIMA
Engenheiro Agrônomo (UNIPAM)
tiagoslima17@gmail.com

RODRIGO MENDES DE OLIVEIRA
Professor orientador (UNIPAM)
rodrigomo@unipam.edu.br

Resumo: A velocidade de deslocamento é um dos principais fatores que prejudicam a qualidade da semeadura, pois interfere diretamente na distribuição longitudinal das sementes. Diante disso, objetivou-se com esse estudo avaliar a distribuição e desenvolvimento de sementes de milho em função de diferentes velocidades de semeadura. O experimento foi realizado na Fazenda São Joãozinho, localizada na Rodovia 354, KM 162 do município de Presidente Olegário (MG), entre os meses de março a julho de 2024. Os tratamentos consistiram em diferentes velocidades de semeadura de milho: T₁ – 5, T₂ – 6, T₃ – 7 e T₄ – 7,5 km/hora distribuídos em cinco blocos, sendo adotado o delineamento em blocos casualizados. Logo após a semeadura, foram avaliados: coeficiente de variação, plantas falhas e plantas duplas; ao final do experimento as plantas de milho foram retiradas para estimativa de produtividade. As médias foram submetidas à Análise de Variância e, quando significativo, foram ajustadas pelo modelo de regressão. Foi observado que o aumento da velocidade na semeadura de milho influencia negativamente no coeficiente de variação e na avaliação de plantas falhas. As diferentes velocidades avaliadas na semeadura de milho não interferiram nas plantas duplas e na produtividade do milho, contudo foi observado aumento de 12 sacas por hectare quando utilizada a velocidade de 5 km/hora em comparação com a velocidade de 7,5 km/hora. Nas condições do presente estudo, concluiu-se que os melhores resultados foram observados na velocidade de 5,0 km/h⁻¹ sendo verificados principalmente nos parâmetros de coeficiente de variação e percentual de plantas falhas.

Palavras-chave: plantabilidade; população de plantas; produtividade; *Zea mays* L.

Abstract: Travel speed is one of the main factors affecting sowing quality, as it directly interferes with the longitudinal distribution of seeds. Therefore, the objective of this study was to evaluate the distribution and development of maize seeds as a function of different sowing speeds. The experiment was conducted at Fazenda São Joãozinho, located along Highway 354, km 162, in Presidente Olegário (MG), from March to July 2024. The treatments consisted of different maize sowing speeds: T₁ – 5, T₂ – 6, T₃ – 7, and T₄ – 7.5 km h⁻¹, arranged in five blocks under a randomized block design. Immediately after sowing, the coefficient of variation, missing plants, and double plants were evaluated; at the end of the experiment, maize plants were harvested to estimate yield. Means were subjected to analysis of variance and, when significant, fitted to a regression model. Increasing sowing speed negatively affected the coefficient of variation and the occurrence of missing plants. The different sowing speeds did not influence the occurrence of double plants or maize yield; however, an increase of 12 bags per hectare was observed when

using the speed of 5 km h⁻¹ compared with 7.5 km h⁻¹. Under the conditions of this study, the best results were obtained at 5.0 km h⁻¹, mainly regarding the coefficient of variation and the percentage of missing plants.

Keywords: plantability; plant population; yield; *Zea mays* L.

1 INTRODUÇÃO

A cultura do milho (*Zea mays* L.) representa aproximadamente 35% da produção de grãos no Brasil. O país é considerado um dos maiores produtores e o maior exportador da commodity. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2024), a produção de milho no Brasil está estimada em 117,6 milhões de toneladas, sendo cultivadas cerca de 21 milhões de hectares nas regiões brasileiras do centro-oeste, sudeste e sul. O milho é largamente utilizado como matéria-prima para alimentação humana e animal, por isso seu cultivo é de suma importância para a agricultura em geral (Miranda, 2018).

A constante melhoria nos processos de implantação e condução da cultura do milho ligados às variedades mais produtivas possuem o papel de contribuir com o aumento da produção nos últimos anos. Distribuição vertical e horizontal na semeadura, homogeneidade das sementes, umidade do solo, disponibilidade hídrica e temperaturas favoráveis propiciam uma emergência uniforme da cultura (Peixoto *et al.*, 2017).

A semeadura é uma operação agrícola que tem como objetivo distribuir sementes no solo de forma uniforme, população adequada por hectare e espaçamento entre plantas e entre linhas. A correta regulação da semeadora evita que as sementes sofram danos mecânicos e físicos, garantindo que todo o seu potencial genético seja exercido, obtendo, assim, o máximo rendimento dos grãos e consequentemente melhores resultados na produtividade (Paludo, 2019).

Na cultura do milho, o acúmulo de plantas pode prejudicar o crescimento e desenvolvimento delas, ocasionando menor produção individual com menor diâmetro de haste e induzindo as plantas ao acamamento. Já espaços vazios ou falhos podem favorecer o desenvolvimento de ervas daninhas fazendo com que as plantas de milho tenham um porte reduzido. Em cima disso, o estande produzido nessas condições acarreta perda na produtividade e dificulta a colheita mecanizada (Fernandes, 2019).

Segundo Rinaldi *et al.* (2021), a uniformidade de distribuição e distância entre as sementes são provenientes do mecanismo dosador-distribuidor e do deslocamento da semeadora. A velocidade de operação na semeadura influencia na desuniformidade do espaçamento entre as sementes depositadas no solo (Mialhe, 2012).

A distribuição regular das sementes no plantio é de suma importância para o bom desenvolvimento e produtividade da cultura. Diante disso, é relevante estudos para entender como a velocidade tem influência e assim obter uma maior qualidade no momento da semeadura. Diante disso, o objetivo do presente estudo foi avaliar a distribuição e desenvolvimento da cultura do milho em função de diferentes velocidades de semeadura.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi montado e conduzido na Fazenda São Joãozinho, localizada na Rodovia 354, KM 162 do município de Presidente Olegário (MG), sob coordenadas geográficas 18°31'53.91"S - 46°20'58.02"O. O período de condução do ensaio foi entre os meses de março a julho de 2024.

A semeadura foi realizada no dia 01/03/2024 pela plantadeira John Deere 1109 mecânica pantográfica de oito linhas, juntamente com o trator John Deere 6125 J de 125 cv. A cultivar de milho utilizada foi a P3707VYH da Pioneer. O delineamento adotado foi o de blocos casualizados (DBC), com quatro tratamentos distribuídos em cinco blocos, cada parcela foi composta por uma área de 50 metros de comprimento por 4 metros de largura, sendo composta por 8 linhas de semeadura, espaçadas por 50 cm. Para a área útil de avaliação, foram considerados os 30 metros centrais e, para a bordadura, foram consideradas apenas as quatro linhas centrais de cada parcela. Foram semeadas 3,2 sementes por metro linear, para uma população de 54 mil plantas por hectare. A Tabela 1 apresenta a descrição dos tratamentos.

Tabela 1: Descrição dos tratamentos utilizados no experimento: “Influência da distribuição e desenvolvimento da cultura do milho em função de diferentes velocidades de semeadura”. Presidente Olegário (MG), 2024

| Tratamentos | Velocidade (Km/h) |
|----------------|-------------------|
| T ₁ | 5,0 |
| T ₂ | 6,0 |
| T ₃ | 7,0 |
| T ₄ | 7,5 |

Para adubação de plantio, foi utilizado o MAP 11-52-00, com uma dose de 100 kg/ha e após 15 dias foi aplicado nitrogênio à base de uréia com uma dose de 200 kg/ha.

No dia da semeadura, foi feita uma medição de 10 metros em cada uma das parcelas, com o uso de uma trena, utilizando as duas linhas centrais e medindo o espaçamento entre cada uma das sementes. O resultado foi utilizado para determinar a qualidade da semeadura através do coeficiente de variação, conforme apresenta a Equação 1 (Steel; Torrie, 1960).

$$\text{Equação 1:} \quad CV = (DP/\mu) \times 100$$

em que:

CV – Coeficiente de variação (%);

DP – Desvio padrão;

μ – Média do espaçamento (cm).

A avaliação de planta falha e dupla foi realizada aos 35 dias após a semeadura, medindo 30 metros em cada uma das parcelas, utilizando uma trena para medir o espaçamento entre cada planta e determinar a quantidade de plantas falhas e duplas em todas as parcelas. O espaçamento ideal a ser considerado foi de 31,2 cm, levando em conta 3,2 sementes por metro linear. As plantas tiveram um espaçamento inferior a 50%

desse valor, ou seja, menores que 15,6 cm, foram consideradas plantas duplas, e as que apresentaram espaçamento maior que 50%, ou seja, maiores 46,8 cm, foram consideradas plantas falhas.

A avaliação de produtividade foi realizada 141 dias após a semeadura. Para avaliação, foi feita a colheita manual de 20 plantas por parcela, debulhando os grãos e pesando separadamente cada uma das parcelas dos tratamentos. Foi contabilizado também o número médio de espigas por planta, o peso médio dos grãos por espiga. Utilizando-se a equação 2, foi possível estimar a produtividade final por hectare (AGRO-BAYER, 2023).

$$\text{Equação 2:} \quad P = ((N_p \times N_e \times P_g) / 60)$$

em que:

P – Produtividade (sc/ha);

N_p – Número de plantas por área;

N_e – Número médio de espigas por planta;

P_g – Peso médio dos grãos por espiga (g)

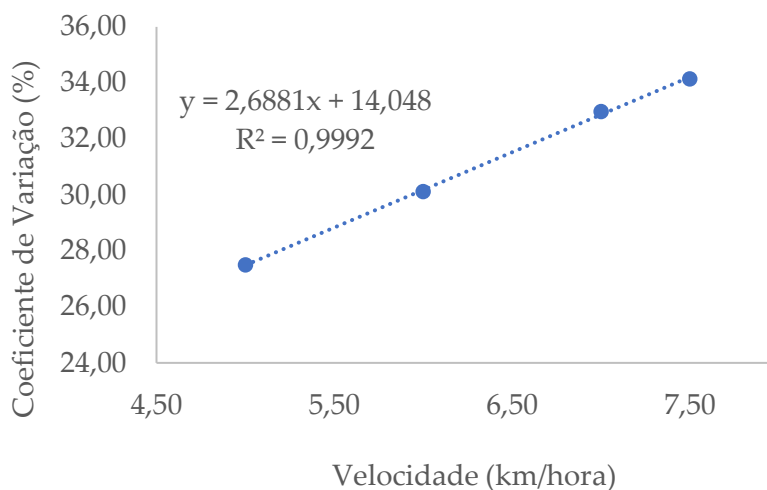
60 – Peso de saco de milho (kg)

As médias foram submetidas à Análise de Variância e, quando significativo, foram ajustadas ao modelo de regressão, a 5% de probabilidade, utilizando o software estatístico SISVAR, versão 5.8 (FERREIRA, 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a análise de variância, houve diferenças significativas entre os tratamentos para coeficiente de variação (CV) (Figura 1). A maior velocidade de 7,5 Km/h apresentou os maiores resultados. O CV (%) é o meio mais adequado para determinar a uniformidade da semeadura, pois, quanto maior for o coeficiente, maior será a variação da distância entre as plantas.

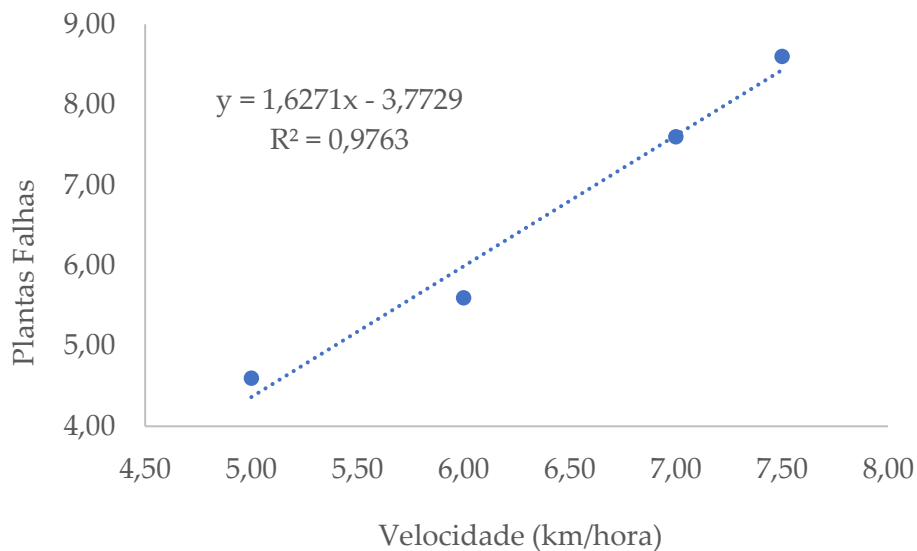
Figura 1: Coeficiente de variação (CV%) em função de velocidades na semeadura do milho. Presidente Olegário (MG), 2024.



Na cultura do milho, o coeficiente de variação adequado deverá ser menor que 30%. Costa *et al.* (2018) concluem que o aumento da velocidade na semeadura de milho influencia negativamente no coeficiente de variação e no estabelecimento da cultura. Henrichsen *et al.*, (2021) realizaram um trabalho na cultura do milho e observaram um decréscimo de 160 a 290 kg ha⁻¹ na produtividade para cada 10% no aumento do CV na distribuição linear das sementes. Segundo Zardo e Casimiro (2016), quanto menor for o coeficiente de variação, melhor será a uniformidade de distribuição de sementes.

Os resultados de plantas falhas estão apresentados na Figura 2. É possível observar que os dados ajustaram para um modelo linear, o que indica que as falhas tendem a ser maiores conforme aumenta a velocidade de semeadura, fatores esses que podem limitar a produção de uma lavoura de milho.

Figura 2- Plantas falhas em função de velocidades na semeadura do milho.
Presidente Olegário (MG), 2024



Ao aumentar a velocidade da semeadura, exige-se mais dos mecanismos dosadores, acarretando ao erro de preenchimento, falta de sementes no alvéolo do mecanismo ou falhas, e conseqüentemente ocorre uma menor distribuição normal (Anghinoni, 2019). Bottega *et al.* (2018) avaliaram diferentes velocidades na semeadura do milho e concluíram que a distribuição de plantas adequadas às velocidades de semeadura precisam estar entre 4 e 6 km/h. Esses resultados são próximos aos obtidos neste trabalho, já que as velocidades de 5 e 6 km/h favoreceram as maiores regularidades. Segundo Anghinoni (2019), é de grande importância que se tenha o mínimo de plantas falhas na semeadura, pois elas podem entrar em concorrência com as plantas invasoras em recursos necessários para a sobrevivência de ambos.

Tabela 2: Plantas duplas e produtividade em função de velocidades na semeadura do milho. Presidente Olegário (MG), 2024

| Velocidade (km/hora) | Plantas Duplas | Produtividade (sc.ha) |
|----------------------|----------------|--------------------------|
| 5,00 | 2,20 | 137,80 |
| 6,00 | 3,00 | 133,20 |
| 7,00 | 3,00 | 122,60 |
| 7,50 | 3,40 | 125,80 |
| Média Geral | 2,90 | 129,85 |
| F | 0,74 ns | 0,06 ns |
| CV (%) | 60,30 | 6,66 |

* ns = não significativo ao nível de 5%.

Na Tabela 2, as diferentes velocidades de semeadura avaliadas não apresentaram diferenças estatisticamente significativas para plantas duplas e produtividade. A análise de plantas duplas é um parâmetro importante a se observar, pois, segundo Silva (2020), a cultura do milho não se adapta facilmente a diferentes arranjos espaciais devido a sua baixa plasticidade. Diante disso, quando ocorrem plantas duplas, há interferência direta na produtividade devido ao pouco efeito compensatório, já que terá competição por água, nutrientes, incidência solar e CO₂. Garcia *et al.*, (2016) verificaram que a porcentagem de espaçamentos aceitáveis diminuiu quando se aumenta a velocidade de deslocamento da semeadura, reduzindo a uniformidade de plantio e afetando negativamente a produtividade. Apesar da não diferença estatística para produtividade, é notório observar que valores mais altos são observados quando se trabalha com velocidades menores, sendo verificado uma diferença de 12 sacas por hectare quando se comparam as velocidades de 5 e 7,5 km/hora.

4 CONCLUSÃO

Nas condições do presente estudo, concluiu-se que os melhores resultados foram observados na velocidade de 5,0 km/h⁻¹, sendo verificados principalmente nos parâmetros de coeficiente de variação e percentual de plantas falhas.

REFERÊNCIAS

ANGHINONI, M. **Mecanismos dosadores de sementes e velocidade de deslocamento do conjunto trator-semeadora nos componentes agronômicos do milho**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2019.

BOTTEGA, E. L.; VIAN, T.; GUERRA, N.; OLIVEIRA NETO, A. M. de O. Diferentes dosadores de sementes e velocidades de deslocamento na semeadura do milho em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, Recife, 22, e201707, 2018.

COMO ESTIMAR A PRODUTIVIDADE DO MILHO. **Agro Bayer**, 2023. Disponível em: <https://www.agro.bayer.com.br/conteudos/como-estimar-a-produtividade-do-milho>.

COSTA, R. D; OZECOSKI, J; LAJÚS, C. R; CERICATO, A. Influência da velocidade de semeadura no coeficiente de variação e no estabelecimento do milho. **Anuário, Pesquisa e Extensão**. UNOESC, São Miguel do Oeste, 2018.

FERNANDES, F. F. **Matointerferência em milho: influência do híbrido e do espaçamento entre linhas**. Dissertação de mestrado (Produção Vegetal) - Universidade do Estado de Santa Catarina, 2019.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039- 1042, 2011.

GARCIA, R. F.; VALE, W. G. do, OLIVEIRA, M. T. R.; PEREIRA, É. M.; AMIM, R. T.; BRAGA, T. C. Influência da velocidade de deslocamento no desempenho de uma semeadora-adubadora de precisão no Norte Fluminense. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 3, p. 417-422, 2016.

HENRICHSEN, L. H; KUNZ, G. A.; SANTOS, D. B.; MARTINS, J. D. Coeficiente de variação na distribuição espacial de plantas e a produtividade da cultura do milho. **Ciências Rurais em Foco**, v. 3, p. 59-60, 2021.

IBGE. Milho total safra 23/24. **Em julho, IBGE prevê safra de 298,0 milhões de toneladas para 2024**. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/40954-em-julho-ibge-preve-safra-de-298-0-milhoes-de-toneladas-para-2024>.

MIALHE, L.G. **Máquinas agrícolas para plantio**. Campinas: Millenium Editora, 2012.

MIRANDA, R. A. Uma história de sucesso da civilização. Embrapa Milho e Sorgo. **A Granja**, v. 74, n. 829, p. 24-27, jan. 2018.

PALUDO, V. **Influência de sistemas dosadores e velocidade de deslocamento de semeadoras adubadoras na qualidade de sementes de soja**. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2019.

PEIXOTO, C. P.; CÂMARA, G. M. S.; MARTINS, M. C.; MARCHIORI, L. F. S.; GUERZONI, R. A.; MATTIAZZI, P. Época de semeadura e densidade de plantas de soja: I. componentes da produção e rendimento de grãos. **Scientia Agrícola**. Piracicaba, v.57, n.1, p.89-96, jan./mar. 2017.

RINALDI, P. C. N.; ZAMPIROLI, R.; ALVARENGA, C. B.; GALLIS, R. B. de A. Métodos de avaliação da distribuição longitudinal de plântulas no estabelecimento inicial da cultura do milho. **Nativa**, v. 9, n. 2, 157-162, 2021.

SILVA, L. E. B. Desenvolvimento da cultura do milho (*Zea mays* L.): revisão de literatura. **Diversitas Journal**, v. 5, n. 3, p. 1636-1657, 2020.

STEEL, R. G. D., TORRIE, J. H. **Principies and procedures of Statistics**. New York: McGraw -Hill, 1960.

ZARDO, L.; CASIMIRO E. L. N. Plantabilidade de diferentes tecnologias de disco para semeadura sob duas velocidades. **Revista Cultivando o Saber**. Edição Especial, p. 92-101, 2016.

Tratamento de sementes de soja com *Bacillus methyilotrophicus* para o manejo de *Meloidogyne javanica*

*Soybean seed treatment with Bacillus methyilotrophicus for the management of
Meloidogyne javanica*

CARLOS MARCELO RODRIGUES DOS REIS

Engenheiro Agrônomo (UNIPAM)
carlos.marcelo0710@gmail.com

RODRIGO MENDES DE OLIVEIRA

Professor orientador (UNIPAM)
rodrigomo@unipam.edu.br

Resumo: A soja é uma das culturas agrícolas mais relevantes globalmente, essencial para a alimentação e economia. No entanto, enfrenta desafios, especialmente com nematoides como *Meloidogyne javanica*, que causam danos significativos ao crescimento e rendimento das plantas. Estudos indicam que o *Bacillus methyilotrophicus* pode ser uma solução sustentável para o controle desses nematoides, oferecendo uma alternativa aos produtos químicos. Dessa forma, o objetivo do presente estudo foi avaliar o uso de *Bacillus methyilotrophicus* aplicado no tratamento de sementes de soja, para o manejo de *Meloidogyne javanica*. O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Lallemand Plant Care Brasil, no período de março a junho de 2024 na cidade de Patos de Minas (MG), utilizando o delineamento experimental em blocos casualizados. Sementes de soja da cultivar BRASMAX OLIMPO IPRO foram tratadas com diferentes doses de *B. methyilotrophicus* na concentração de 1×10^{10} sendo: 0,00; 0,20; 0,30; 0,40 e 0,50 ml.kg de sementes, e uma semente foi semeada em vasos de 3,8L. A inoculação de *M. javanica* aconteceu quando as plantas de soja se encontravam entre o estágio V3 e V4. Aos 60 dias após a inoculação, foram avaliados a massa fresca de raízes e da parte aérea e o número de nematoides por cinco gramas de raízes e em 100 cm³ de solo. Os resultados foram submetidos à análise de variância a 5% e ajustados ao modelo de regressão. Foram observadas diferenças significativas para todas as avaliações realizadas; as variáveis vegetativas foram ajustadas a modelos de regressão polinomial de terceiro grau, sendo verificado melhores respostas para doses de 0,30 e 0,34 ml.kg de sementes, para massa fresca de parte aérea e raiz, respectivamente. Na avaliação de número de nematoides para cinco gramas de raiz e 100 cm³ de solo, as médias se ajustaram em modelos de regressão polinomial de segundo grau, sendo as doses de 0,30 e 0,31 ml.kg de sementes aquelas que apresentaram melhores resultados, respectivamente. Concluiu-se que *B. methyilotrophicus* apresenta-se como agente potencial no manejo de *M. javanica* e que doses variando de 0,30 a 0,38 ml.kg de sementes foram as que apresentaram melhores respostas aos parâmetros avaliados.

Palavras-chave: bactéria; controle biológico; nematoides.

Abstract: Soybean is one of the most globally important agricultural crops, playing a central role in food production and the economy. However, its cultivation faces significant challenges, particularly due to nematodes such as *Meloidogyne javanica*, which cause substantial damage to

plant growth and yield. Studies indicate that *Bacillus methylotrophicus* may represent a sustainable alternative for nematode control, reducing reliance on chemical products. Thus, the objective of this study was to evaluate the use of *Bacillus methylotrophicus* applied as a soybean seed treatment for the management of *Meloidogyne javanica*. The experiment was conducted in a greenhouse at Lallemand Plant Care Brasil, from March to June 2024, in the municipality of Patos de Minas, Minas Gerais State, Brazil, using a randomized block design. Soybean seeds of the cultivar BRASMAX OLIMPO IPRO were treated with different doses of *B. methylotrophicus* at a concentration of 1×10^{10} , namely 0.00, 0.20, 0.30, 0.40, and 0.50 mL kg⁻¹ of seeds, and one seed was sown per 3.8 L pot. Inoculation with *M. javanica* was performed when soybean plants were between the V3 and V4 growth stages. Sixty days after inoculation, fresh root mass, shoot fresh mass, and the number of nematodes per five grams of roots and per 100 cm³ of soil were evaluated. The results were subjected to analysis of variance at the 5% significance level and adjusted using regression models. Significant differences were observed for all evaluated variables. Vegetative variables were best fitted to third-degree polynomial regression models, with optimal responses observed at doses of 0.30 and 0.34 mL kg⁻¹ of seeds for shoot and root fresh mass, respectively. For the number of nematodes per five grams of roots and per 100 cm³ of soil, the means were fitted to second-degree polynomial regression models, with the best results obtained at doses of 0.30 and 0.31 mL kg⁻¹ of seeds, respectively. It was concluded that *B. methylotrophicus* shows potential as a biological agent for the management of *M. javanica*, and that doses ranging from 0.30 to 0.38 mL kg⁻¹ of seeds provided the most favorable responses for the evaluated parameters.

Keywords: bacterium; biological control; nematodes.

1 INTRODUÇÃO

A soja está entre as culturas agrícolas mais importantes em todo o mundo. É fundamental para a alimentação humana e animal, além de desempenhar um papel essencial na economia global. A expansão da cultura da soja no país vem se consolidando graças aos avanços científicos e à disponibilização de tecnologias ao setor produtivo (Silva; Martins, 2018). No entanto, frequentemente a sua produção se depara com obstáculos devido a vários fatores.

O *Meloidogyne javanica* é uma espécie de nematoide, também conhecido como nematoide das galhas radiculares, que causa danos significativos em várias culturas agrícolas, incluindo a soja, o tomate, o milho e diversas plantas ornamentais. Esses nematoides infectam as raízes das plantas, formando galhas ou inchaços, o que prejudica a absorção de água e nutrientes, resultando em redução no crescimento e no rendimento das culturas (Dias-Arieira *et al.*, 2003).

Levantamento da Syngenta, em parceria com a Agroconsult e a Sociedade Brasileira de Nematologia, revelou preocupantes perdas nas lavouras brasileiras devido a nematoides e a doenças iniciais. Estima-se que esses problemas causem prejuízos de R\$ 65 bilhões, sendo R\$ 27,7 bilhões apenas na cultura da soja (SYNGENTA, 2020 *apud* Tavares, 2023).

A infestação por nematoides, como o *Meloidogyne javanica*, representa um desafio significativo para os produtores de soja, podendo resultar em sérias perdas de rendimento na produção do grão. Diante dessa ameaça, torna-se crucial buscar métodos de controle que sejam eficazes e sustentáveis (Grigolli; Asmus, 2014). Os autores

descrevem a necessidade de reduzir o uso de defensivos químicos altamente tóxicos; desse modo, o emprego de microrganismos antagonistas emerge como alternativa sustentável para o controle de nematoides. Entre esses microrganismos, destaca-se o *Bacillus methylothrophicus*, uma rizobactéria formadora de endósporos, conhecida como ABC, porque secreta metabólitos com propriedades antifúngicas, antibacterianas e nematicidas.

Para Coelho, Martins e Miranda (2021), o controle biológico surge como uma alternativa inovadora que promove a interação entre diversos inimigos naturais dos nematoides fitófagos, como as bactérias do gênero *Bacillus*, com sua capacidade de formar endósporos, antagonismo, produção de enzimas líticas, sideróforos, solubilização de fósforo e fixação de nutrientes, destacando-se como candidatas ideais para a formulação de bioprodutos biológicos.

O *Bacillus methylothrophicus* é uma bactéria do gênero *Bacillus*, reconhecida por suas propriedades antagonicas contra patógenos, incluindo nematoides, que possui alguns modos de ações principais, como indução da resistência da planta, redução da eclosão dos ovos, afetando a mobilidade dos nematoides (Rocha, 2022). As plantas possuem mecanismo de defesa contra doenças; o *Bacillus*, ao se associar às raízes, ativa esses mecanismos de defesa, deixando a planta mais resistente aos nematoide. Além de produzir quitinase, enzima capaz de degradar a quitina presente nas paredes dos ovos do nematoide, reduz assim a eclosão (Melo; Nascimento; Serra, 2021).

Já a protease, outra enzima produzida, degrada proteínas presente no corpo do nematoide, prejudicando a sua mobilidade e debilitando o nematoide, dificultando que ele chegue à raiz. Essa bactéria oferece alternativa sustentável aos pesticidas químicos, sendo amplamente explorada na biotecnologia agrícola devido à sua versatilidade metabólica (Rocha, 2022), além de a bactéria produzir enzimas hidrolíticas e metabólitos com efeito nematicida e nematostático (compostos orgânicos voláteis e toxinas).

Diante do exposto, objetiva-se com esta pesquisa avaliar o uso de *Bacillus methylothrophicus* aplicado no tratamento de sementes de soja, para o manejo de *Meloidogyne javanica*.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no período de março a junho de 2024 em casa de vegetação pertencente a *Lallemand Plant Care* Brasil, em Patos de Minas (MG), cidade localizada a uma altitude de 580 m, em latitude 18° 34' S, e longitude 46° 30' O. Foram utilizadas sementes de soja da cultivar BRASMAX OLIMPO IPRO (suscetível ao nematoide de galha *Meloidogyne javanica*).

Para o estabelecimento do experimento, o delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, contendo seis tratamentos com seis repetições, totalizando 36 parcelas. As sementes de soja foram tratadas com cinco dosagens distintas de *Bacillus methylothrophicus*; para o tratamento controle não se aplicou *B. methylothrophicus* nas sementes (Tabela 1). As sementes foram colocadas em sacos de plástico e agitadas para que entrassem em contato com a solução de forma uniforme e eficaz.

Tabela 1: Descrição dos tratamentos aplicados no experimento “Tratamento de sementes de soja com *Bacillus methylophilus* para o manejo de *Meloidogyne javanica*”, conduzido em casa de vegetação. Patos de Minas (MG), 2024

| Tratamentos | Dose de <i>Bacillus methylophilus</i> (ml.kg de sementes) |
|----------------|--------------------------------------------------------------|
| T ₁ | 0,00 |
| T ₂ | 0,10 |
| T ₃ | 0,20 |
| T ₄ | 0,30 |
| T ₅ | 0,40 |
| T ₆ | 0,50 |

* Concentração 1x10¹⁰ UFC/ml

Foi semeada uma semente de soja por vaso com capacidade de 3,8 litros, contendo solo e substrato (50% turfa de Sphagnum e 50% perlita) autoclavado por 50 minutos a 120 °C, preparado em proporção 1:1. Aplicações de solução nutritiva foram realizadas a cada 15 dias após a emergência de plantas, conforme proposta por Johnson (1957). A irrigação, por sua vez, foi feita diariamente por meio do sistema de aspersão, sendo quatro vezes ao dia por um tempo médio de dois minutos.

O inóculo utilizado no trabalho foi obtido de plantas de tomate mantidas em casa de vegetação na *Lallemand Plant Care* Brasil. Quando as plantas estavam entre o terceiro nó foliar e segunda folha trifoliolada (V3), e o quarto nó foliar e terceira folha trifoliolada (V4), o solo de todos tratamentos foram infestados com 3000 ovos e J2 de *Meloidogyne javanica*, processo realizado com auxílio de uma pipeta, em que o inóculo permaneceu calibrado em 1000 ovos por mL. Assim, com um bastão de vidro de 8 mm x 300 mm, foram feitos três furos próximos às raízes para auxiliar na inoculação.

Aos 60 dias após a inoculação, o experimento foi direcionado ao laboratório da *Lallemand Plant Care* Brasil, onde foram avaliados os seguintes parâmetros: massa fresca das raízes e da parte aérea, número de nematoides por cinco grama de raiz e número de nematoides em 100 cm³ de solo.

Para determinar a massa fresca das raízes (MFR) e da parte aérea (MFPA), utilizou-se um cortador para separar o material vegetal, que foi então colocado em um Becker para ser pesado em uma balança com capacidade máxima de 3310 g e mínima de 0,5 g. Para a avaliação da reprodução do nematoide, realizou-se a extração de ovos da raiz e do solo.

A extração de ovos e juvenis das raízes, teve início com uma parte conhecida da raiz, sendo considerada 5 gramas. Desse modo, a extração sucedeu-se conforme a metodologia de Coolen e D’Herde (1972), que consiste em lavar cuidadosamente o material vegetal (raízes) e cortá-las em pedaços de 0,5 - 1,0 cm, colocando a amostra em liquidificador à baixa rotação, submergi-la em água e triturar por um minuto. Em seguida, passou-se a suspensão resultante da trituração em peneira de 20 mesh montada sobre outra de 500 mesh; o material retido na peneira de 500 mesh foi lavado em água corrente para assim, com o auxílio de uma pisseta, passar para o tubo da centrífuga (tubos falcon), onde adicionou-se cerca de 1 a 1,5 mL de caulim (pó de cerâmica) à suspensão. Logo após, o material passou por centrifugação por cinco minutos a 1750 rpm. Após a centrifugação descartou-se o líquido sobrenadante dos tubos falcon e

adicionou-se ao pellet uma solução de sacarose na proporção de 454 g de açúcar refinado para 1L de água, encaminhado novamente para a centrífuga durante um minuto na velocidade de 1750 rpm. Completado um minuto, a solução sobrenadante foi despejada novamente sobre a peneira 500 mesh, sendo lavada em água de torneira para retirar a sacarose; em seguida, foram coletados os nematoides extraídos em frasco com auxílio de pisseta com água.

Para realização da extração de ovos e eventuais juvenis do substrato + solo, utilizou-se o método de Jenkins (1964), sendo coletados 100 centímetros cúbicos de solo por cada vaso. Posteriormente, misturou-se em dois litros de água corrente com o auxílio de um becker. Após a solução se homogeneizar, foi necessário aguardar por volta de um minuto para ser decantada. Após a decantação, despejou-se a solução sobrenadante sobre uma peneira de 20 mesh acoplada à outra de 400 mesh, lavando-se a solução da segunda peneira com água corrente. O restante do processo foi o mesmo utilizado para a extração das raízes.

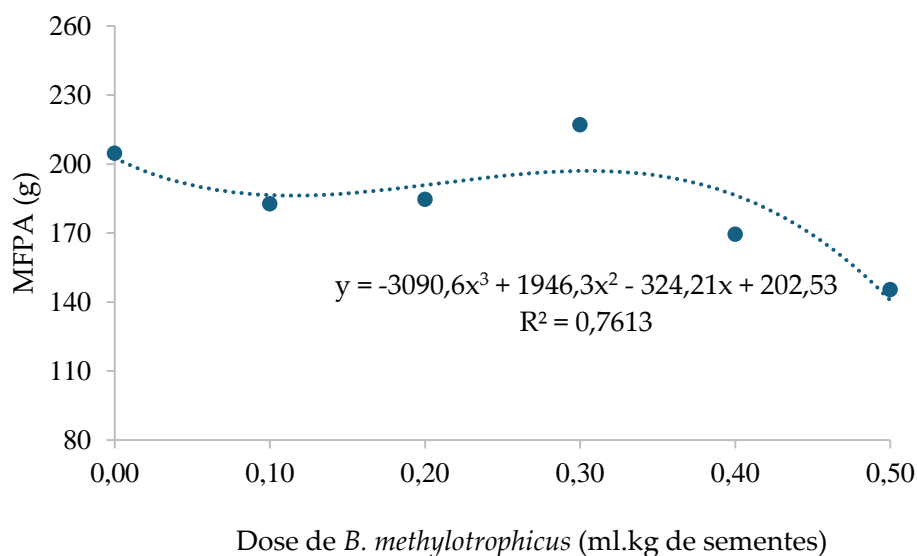
Após a extração, realizou-se a contagem dos números de ovos e juvenis do sistema radicular e solo com o auxílio de microscópio e câmara de Peters; em seguida, calculou-se o número de nematoides por 5 grama de raiz e o número de nematoides em 100 cm³ de solo. Os resultados foram submetidos à análise de variância a 5% e ajustados ao modelo de regressão, obtendo-se a equação matemática que melhor expressa os dados obtidos no experimento. Foi utilizado o software SISVAR, versão 5.8 (FERREIRA, 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Entre as variáveis vegetativas, a massa fresca de parte aérea (MFPA) foi significativamente influenciada pelos tratamentos. Foi verificado maior incremento quando se aplicou *B. methylotrophicus* na dose de 0,30 mL.kg de sementes (Figura 1). Conforme equação $y = -3090.6x^3 + 1946.3x^2 - 324.21x + 202.53$, menores acúmulos de massa na parte aérea foi constatado para dose de 0,11 mL.kg de sementes e maior para 0,30 mL.kg de sementes. O coeficiente de determinação $R^2 = 0.7613$ sugere um ajuste relativamente forte do modelo aos dados, explicando cerca de 76,13% da variância na massa fresca de parte aérea.

Figura 1: Resultados de massa fresca de parte aérea (MFPA em gramas) em sementes de soja tratadas com *B. methylophilus* e inoculadas com *M. javanica*.

Patos de Minas (MG), 2024



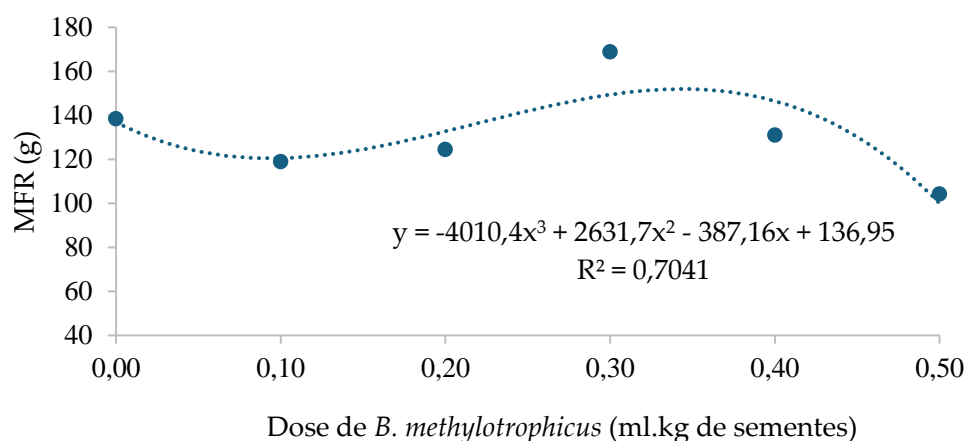
Isso sugere que aplicações de *B. methylophilus* na dosagem de 0,30 ml.kg de sementes de soja influência na produção de massa fresca da parte aérea das plantas, podendo esse efeito estar relacionado às propriedades antagônicas da bactéria em relação aos nematoides; no entanto, dosagens mais altas e/ou baixas podem inferir de forma negativa na produção de massa da parte aéreas das plantas. Dias-Arieira *et al.* (2003) ressaltam que os nematoides de *Meloidogyne javanica* causam galhas nas raízes e prejudicam a absorção de água e nutrientes, o que pode reduzir o crescimento e a massa das plantas. Esse impacto negativo dos nematoides destaca a importância de encontrar tratamentos eficazes, como o identificado na análise de concentração, para mitigar os danos e promover o crescimento saudável das plantas.

Brida *et al.* (2016) destacam que os nematoides de plantas são comuns e causam grandes prejuízos às culturas, especialmente à soja, com mais de 100 espécies associadas ao cultivo mundial. No Brasil, os nematoides mais danosos incluem os formadores de galhas, cistos, lesões radiculares e o reniforme, sendo o *M. javanica* um dos mais disseminados e prejudiciais. Em áreas afetadas, as plantas ficam pequenas e amareladas, com abortamento das vagens e maturação prematura. Nas raízes, formam-se galhas de tamanhos e números variados, dependendo da cultura e da densidade populacional do nematoide.

Pode ser verificado na Figura 2 em relação à massa fresca de raiz (MFR) que o tratamento controle (0,00 ml.kg de sementes) apresentou 138,40 g de massa de raiz; já a aplicação de *B. methylophilus* na dose de 0,30 ml.kg de sementes apresentou média de 168,90 g de massa de raiz, possibilitando um incremento de aproximadamente 22,04%. A regressão das doses de *B. methylophilus* ($y = -4010,4x^3 + 2631,7x^2 - 387,16x + 136,95$) apresentou comportamento similar àquela obtida pela massa fresca de parte aérea, com menor pico para a dose de 0,10 ml.kg de sementes (120,48 g de massa fresca de raiz) e maior pico para a dose de 0,34 ml.kg de sementes (151,95 g de massa fresca de raiz). O

valor de R^2 explica 70,41% do incremento na massa fresca de raiz em virtude das aplicações de *B. methylotrophicus*.

Figura 2: Resultados de massa fresca de raiz (MFR em gramas) em sementes de soja tratadas com *B. methylotrophicus* e inoculadas com *M. javanica*. Patos de Minas (MG), 2024

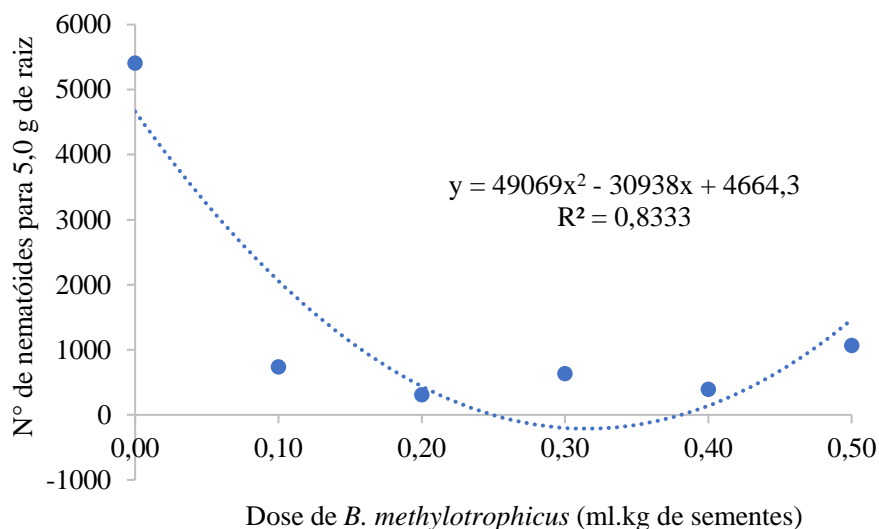


Em seu estudo, Tavares (2023) descreve que *M. javanica* é um nematoide especialmente prejudicial para a soja, e essa característica fica claramente demonstrada. Na testemunha inoculada, que não recebeu tratamento nematicida, foram identificados sintomas radiculares típicos, como galhas, além de um número elevado de nematoides por grama de raiz, o que ressalta a significativa capacidade dessa espécie de nematoide de causar danos à soja.

Uma vez que nematoides fitopatogênicos se estabelecem em uma área, sua erradicação torna-se extremamente difícil, exigindo ações para diminuir sua população e possibilitar o cultivo de certas plantas. Na cultura da soja, esses nematoides, muitas vezes, não são detectados, embora possam causar grandes reduções na produtividade. Métodos culturais, como a rotação de culturas com espécies que não são hospedeiras ou que são antagonistas, têm demonstrado eficácia no manejo desses nematoides. A aplicação de *B. methylotrophicus* pode surgir como uma alternativa no conjunto de manejo de controle desses nematoides (Dias-Arieira *et al.*, 2003).

Os resultados de número de nematoides para 5,0 g de raiz estão apresentados na Figura 3. Observa-se que as médias foram ajustadas em um modelo de regressão polinomial de segunda ordem, com efeito quadrático. Conforme equação $y = 49069x^2 - 30938x + 4664,3$, o pico de mínima foi constatada na dose de 0,31 ml.kg de sementes, reduzindo consideravelmente a população de nematoides.

Figura 3: Resultados de número de nematoides para 5,0 g de raiz em sementes de soja tratadas com *B. methylophilus* e inoculadas com *M. javanica*.
Patos de Minas (MG), 2024



Nascimento (2021) afirma que os nematoides formadores de galhas são parasitas sedentários com dimorfismo sexual e um ciclo de vida complexo. Eles completam seu ciclo dentro das raízes das plantas, onde causam a formação de galhas visíveis após 48 horas. O ciclo de vida desses nematoides varia de 21 a 45 dias, dependendo das condições ambientais e da espécie. No presente estudo, verificou-se que aplicações de *B. methylophilus* na dose de 0,31 ml.kg de sementes podem travar esse ciclo dentro das raízes e diminuir a população de nematoides, podendo esse efeito estar relacionado à produção de enzimas que degradam a quitina presente nas paredes dos ovos de nematoides ou pelo ativamento de mecanismos de defesa das plantas contra a doença (Melo; Nascimento; Serra, 2021).

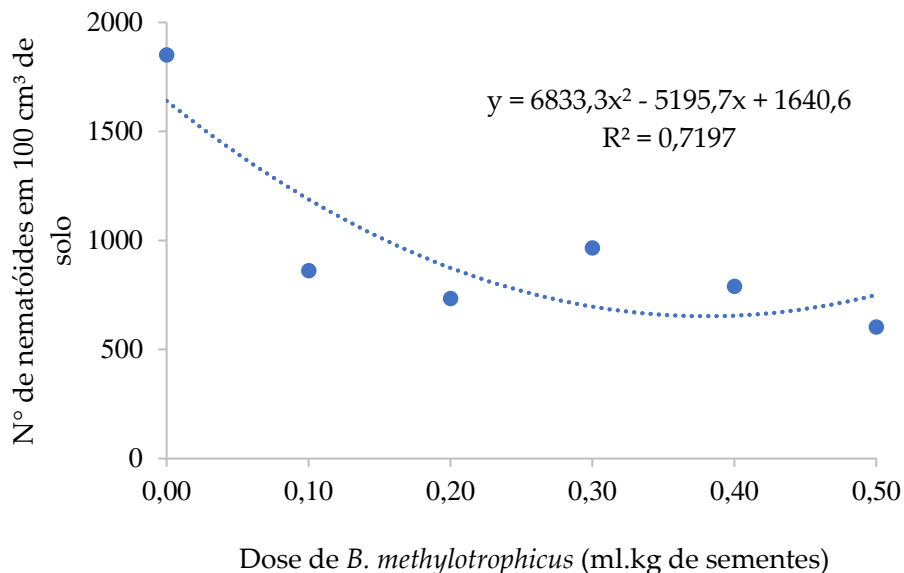
Os nematoides são classificados de acordo com seus hábitos alimentares, e os parasitas de plantas são particularmente problemáticos, causando perdas econômicas significativas. Eles se alimentam e se reproduzem em plantas vivas, podendo se deslocar para a rizosfera, raízes ou parte aérea. Atraídos pelos exsudatos das raízes, os nematoides penetram através das células epidérmicas após sondar e selecionar a célula adequada para alimentação, passando pelas etapas de inserção do estilete, salivação e ingestão de nutrientes (Teixeira; Rocha; Carbone, 2011). Segundo Melo, Nascimento e Serra (2021), a aplicação de *B. methylophilus* pode produzir a enzima protease capaz de degradar as proteínas presentes no corpo do nematoide, prejudicando a sua mobilidade e debilitando o nematoide, dificultando que ele chegue à raiz das plantas.

Além disso, o contexto fornecido por Nascimento (2021) e Teixeira, Rocha e Carbone (2011) sobre o ciclo de vida dos nematoides e seu impacto econômico reforça a importância de controlar esses parasitas de maneira eficiente. Considerando-se que os nematoides formadores de galhas são parasitas sedentários com um ciclo de vida complexo, o manejo adequado dessas pragas é crucial para minimizar perdas econômicas e preservar a saúde das plantas. Portanto, a pesquisa destaca a importância

de encontrar um equilíbrio na dosagem do tratamento para garantir eficácia no controle dos nematoides, sem exceder a quantidade necessária, evitando assim possíveis efeitos adversos.

Houve um efeito quadrático para número de nematoides em 100 cm³ de solo como apresentado na Figura 4. Conforme equação $y = 6833,3x^2 - 5195,7x + 1640,6$, a dose encontrada para o pico de mínima foi de 0,38 ml.kg de sementes, reduzindo a população de nematoides para 652,96. Esse resultado demonstra que a aplicação de *B. methylotrophicus* na dose de 0,38 ml.kg de sementes se apresenta como um potencial medida de manejo no controle de *M. javanica*.

Figura 4: Resultados de número de nematoides em 100 cm³ de solo retirados de vasos semeados com sementes de soja tratadas com *B. methylotrophicus* e inoculadas com *M. javanica*. Patos de Minas (MG), 2024



Bacillus methylotrophicus tem mostrado eficácia na redução de nematoides em testes de casa de vegetação e ensaios in vitro, apresentando potencial nematicida. As bactérias *Bacillus* e *Pseudomonas*, como *Pseudomonas fluorescens*, agem sobre os nematoides por meio de diferentes mecanismos, mostrando-se promissoras no controle dessas pragas (Carvalho, 2017).

Para Machado e Costa (2017), fungos e bactérias são utilizados para controlar a densidade de parasitas no campo, equilibrando a microbiota do solo para suprimir os patógenos. Esses microrganismos empregam estratégias como predação, parasitismo e antibiose contra os fitopatógenos. A produção de toxinas e a indução de patologias nos nematoides afetam a eclosão, desenvolvimento e movimento desses organismos.

O uso de *B. methylotrophicus*, assim como de outras bactérias e fungos, é promissor no controle de nematoides, pois essas espécies atuam de diversas maneiras, como predação, parasitismo e antibiose, afetando o ciclo de vida dos nematoides e controlando sua população no solo. Esses mecanismos são fundamentais para suprimir

os patógenos e equilibrar a microbiota do solo, demonstrando que os microrganismos podem ser uma alternativa eficaz no manejo de *M. javanica*.

4 CONCLUSÃO

Nas condições em que o experimento foi instalado, concluiu-se que *Bacillus methylotrophicus* apresenta-se como agente potencial no manejo de *Meloidogyne javanica* e que doses variando de 0,30 a 0,38 ml.kg de sementes obtiveram melhores resultados em relação à massa fresca das raízes e da parte aérea, redução considerável na reprodução de nematoides por cinco grama de raiz e de nematoides em 100 cm³ de solo.

REFERÊNCIAS

BRIDA, A. L.; GABIA, A. A.; PEZZONI FILHO, J. C.; MORAES, D. A.; WILCKEN, S. R. S. Variabilidade espacial de *Meloidogyne javanica* em soja. **Summa Phytopathologica**, v. 42, p. 175-179, 2016.

CARVALHO, P. H. **Controle biológico e alternativo de *Meloidogyne incognita* e *M. javanica* em tomateiro**. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

COELHO, T. N.; MARTINS, W. S.; MIRANDA, F. F. R. Controle biológico no manejo de *Pratylenchus brachyurus* em diferentes tratamentos na cultura da soja. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, Gurupi, v. 9, n. 3, p. 274-278, 2021.

COOLEN, W. A.; D'HERDE, C. J. A method for the quantitative extraction of nematodes from plant tissue. **State Agricultural Research Centre**, Ghent, Belgium. 1972.

DIAS-ARIEIRA, C. R., FERRAZ, S., DE FREITAS, L.G., MIZOBUTSI, E.H. Avaliação de gramíneas forrageiras para o controle de *Meloidogyne incognita* e *M. javanica* (Nematoda). **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 25, n. 2, p. 473-477, 2003.

FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039- 1042, 2011.

GRIGOLLI, J. F. J.; ASMUS, G. L. Manejo de nematoides na cultura da soja. In: LOURENÇÃO, A. L. F.; GRIGOLLI, J. F. J.; MELOTTO, A. M.; PITOL, C.; GITTI, D. C.; ROSCOE, R. (Eds.). **Tecnologia e produção: soja 2013/2014**. Maracaju, MS: Fundação MS, 2014.

JENKINS, W. R. Arapid centrifugal flotation technique for extracting nematodes from soil. **Plant Disease Reportes**, Saint Paul, v. 48, p. 692, 1964.

JOHNSON, C. M.; STOUT, P. R.; BROYER, T. C.; CARLTON, A. B. Comparative chlorine requirement off diferent plant species. **Plant and Soil**, Berkeley, v. 8, n. 3, p. 337-353, 1957.

MACHADO, A. P; COSTA, M. J. N. da. Biocontrole do fitonematoide *Pratylenchus brachyurus* *in vitro* e na soja em casa de vegetação por *Bacillus subtilis*. **Revista Biociências**, v. 23, n. 1, p. 83-94, 2017.

MELO, T. A. de; NASCIMENTO, I. T. V. S. do; SERRA, I. M. R. de S. The *Bacillus* genus applied to the biological control of plant diseases. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 9, p. e18110917817, 2021.

NASCIMENTO, C. A. de J. **Efeito do biofertilizante Agrobio no controle de *Meloidogyne javanica* na cultura do tomateiro**. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Ciência do Solo) - Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2021.

OLIVEIRA, J. V. D. **Contabilidade e gestão de custos na agroindústria e produção de soja no brasil: uma revisão da literatura**. 2023. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Contábeis) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023.

ROCHA, G. T. **Caracterização fenotípica, bioquímica e molecular de bactérias dos gêneros *Bacillus*, *Lysinibacillus*, *Priestia* e *Brevibacillus* com potencial atividade entomocida, fungicida e solubilizadora de fosfato**. 2022. xxvii, 375 f., il. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2022.

SILVA, M. T. B da; MARTINS, K. V. Bioestimulantes no crescimento e no desenvolvimento da cultura de soja. **Cerrado Agrociências**, v. 9, p. 62-67, 2018.

TAVARES, M. C. **Influência de novas moléculas químicas na penetração, desenvolvimento e reprodução de *Pratylenchus brachyurus* e *Meloidogyne javanica* na cultura da soja**. 2023. 31 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Proteção de Plantas, Instituto Federal Goiano, Urutaí - Goiás, 2023.

TEIXEIRA, R. A; ROCHA, M. R da; CARBONE, M. A. Diversidade de nematóides em relação a diferentes usos do solo. **8ª CONPEEX/63ª Reunião Anual da SBPC**, 2011.

Efeito do número de sementes na semeadura sobre a produção de trigo (*Triticum aestivum* L.) para silagem

Effect of the number of seeds at sowing on wheat (Triticum aestivum L.) production for silage

MAURÍCIO ANTÔNIO DE OLIVEIRA COELHO

Engenheiro Agrônomo (EPAMIG)

mauricio@epamig.br

MARCELO RODRIGUES MARTINS

Zootecnista (EMATER/MG)

marcelo.martins@emater.mg.gov.br

Resumo: O trigo (*Triticum aestivum* L.) é o segundo cereal mais consumido no mundo, sendo superado apenas pelo milho. Trabalhos recentes desenvolvidos pela Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) indicam grande potencial de seu uso como forrageira. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do número de sementes na semeadura sobre a produção de trigo para silagem. Foi utilizada a cultivar MGS Brilhante (EPAMIG), de porte alto, resistente ao acamamento, e sem aristas, que é recomendada para cultivo de sequeiro no cerrado. Esse experimento foi realizado no Campo Experimental de Sertãozinho (EPAMIG), município de Patos de Minas, Minas Gerais, Brasil (18°32'23.14"S 46°27'27.40"O), altitude média de 950 metros e precipitação média anual de 1400mm. Semeadura foi realizada em 01/07/2022 e colheita efetuada em 04/10/2022. Foram aplicados 250 kg.ha⁻¹ de 08-28-16 na semeadura e 100 kg.ha⁻¹ de N em forma de 30-00-20 em cobertura. Os parâmetros avaliados foram: produtividade de matéria fresca (kg.ha⁻¹), produtividade de matéria seca (kg.ha⁻¹), porcentagem da massa da espiga na matéria seca total. A produção máxima de matéria fresca foi obtida com a distribuição de 434,1 sementes por metro quadrado, correspondendo a uma produtividade de 33.016 toneladas de matéria fresca por hectare de trigo para forragem. A produção máxima de matéria seca foi observada com a distribuição de 429,2 sementes por metro quadrado, correspondendo à uma produção de 7.843,7 kg de matéria seca de trigo para silagem por hectare. Acima da distribuição de 200 sementes de trigo por metro quadrado ocorreu uma redução linear na participação das espigas na matéria seca total produzida. Nas condições em que o experimento foi conduzido, concluiu-se que a quantidade ótima de sementes recomendada para a cultivar MGS Brilhante, semeada em linha visando máxima produtividade de matéria fresca e matéria seca, situa-se entre 429 e 434 sementes por metro quadrado.

Palavras-chave: matéria fresca; matéria seca; forrageira.

Abstract: Wheat (*Triticum aestivum* L.) is the second most consumed cereal worldwide, surpassed only by maize. Recent studies conducted by the Agricultural Research Company of Minas Gerais (EPAMIG) have indicated a high potential for its use as a forage crop. The objective of this study was to evaluate the influence of seed density at sowing on wheat production for silage. The cultivar MGS Brilhante (EPAMIG), characterized by tall stature, lodging resistance, and awnless

spikes, and recommended for rainfed cultivation in the Brazilian Cerrado, was used. The experiment was conducted at the Sertãozinho Experimental Field (EPAMIG), in the municipality of Patos de Minas, Minas Gerais State, Brazil (18°32'23.14" S, 46°27'27.40" W), at a mean altitude of 950 m and with an average annual precipitation of 1,400 mm. Sowing was carried out on July 1, 2022, and harvest on October 4, 2022. Fertilization consisted of the application of 250 kg ha⁻¹ of 08-28-16 at sowing and 100 kg ha⁻¹ of N as 30-00-20 as topdressing. The evaluated parameters were fresh matter yield (kg ha⁻¹), dry matter yield (kg ha⁻¹), and the percentage contribution of spike mass to total dry matter. Maximum fresh matter yield was obtained with a density of 434.1 seeds m⁻², corresponding to a production of 33,016 kg ha⁻¹ of fresh wheat forage. Maximum dry matter yield was observed at a density of 429.2 seeds m⁻², corresponding to 7,843.7 kg ha⁻¹ of dry matter for wheat silage. Above a density of 200 seeds m⁻², a linear reduction in the contribution of spikes to total dry matter production was observed. Under the conditions of this study, it was concluded that the optimal seed density recommended for the cultivar MGS Brillhante, sown in rows to maximize fresh and dry matter yields, ranges between 429 and 434 seeds m⁻².

Keywords: fresh matter; dry matter; forage crop.

1 INTRODUÇÃO

O trigo é o segundo cereal mais produzido no mundo, posicionando-se apenas atrás do milho. A previsão da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura, para 2025 é de 805,3 milhões de toneladas de trigo (FAO, 2025). No Brasil, o Segundo Levantamento de Safra da CONAB (2025), estima uma área total de 2.444,4 milhões de hectares semeados, com uma produtividade média de 3.145 kg por hectare e uma produção total de 7.687,4 milhões de toneladas. Em Minas Gerais, a CONAB (2025) prevê uma área total semeada com trigo de 151,1 mil hectares, produtividade média de 2804 kg por hectare e produção total de 423,7 mil toneladas. Entretanto, dados do uso do trigo destinado para alimentação de bovinos no Brasil são incipientes, indicando que a cultura não é usualmente utilizada para essa finalidade.

De acordo com Coelho e Araujo (2021) a alimentação de bovinos para produção de carne e leite no Brasil depende substancialmente da utilização de pastagens naturais ou cultivadas. Nesse sentido, o custo de produção fica reduzido, desde que haja chuvas suficientes para manter o crescimento e desenvolvimento das pastagens. Entretanto, já é conhecida a sazonalidade da produção forrageira no nosso país, caracterizado por um período com abundância de forragem com bom valor nutritivo e outro período com escassez do alimento associado a redução do seu valor nutritivo agregado (Andrade *et al.*, 2010).

No Brasil, a principal alternativa adotada para oferta de volumoso suplementar no período seco do ano é a produção de silagem, principalmente a partir da cultura do milho. Com essa técnica, conserva-se parte e/ou o excesso da forragem produzida no período de maior abundância de chuvas, otimizando a produção de leite e carne o ano todo, fornecendo forragem de alta qualidade (Andrade *et al.*, 2010). De acordo com Assis *et al.* (2014), a cultura do (*Zea mays*) está muito bem adaptada em todo território Brasileiro, apresentando considerável produção de matéria seca (MS) por hectare em todas as regiões brasileiras. O milho possui elevado valor nutritivo o que lhe confere ótimas condições para sua conservação na forma de silagem. Contudo, o

desenvolvimento de híbridos cada vez mais produtivos proporcionou também substancial elevação no custo das sementes desses híbridos de milho. O alto custo das sementes dos híbridos de milho reflete diretamente na elevação do custo de produção da silagem de milho e consequentemente no custo de produção do leite. Dessa forma, os produtores buscam alternativas de forrageiras para silagem com custos de produção inferiores.

Estudos recentes realizados por Coelho e Araujo (2021) na Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) indicam que o trigo (*Triticum aestivum* L.) aparece como uma excelente opção para a produção de silagem na entressafra. Na busca por alternativas mais econômicas, alguns produtores na região Sul do Brasil têm optado por fazer silagem utilizando cereais de inverno, principalmente devido ao clima favorável. De acordo com Coelho (2013), aparece como alternativa de cultivo no outono/inverno em Minas Gerais e outras regiões tropicais do Brasil. Especificamente em Minas Gerais, além das regiões tradicionalmente produtoras de trigo como o Triângulo Mineiro, Alto Paranaíba e Noroeste de Minas, aparecem novas regiões tritícolas como o Campo das Vertentes, Sul de Minas e a Região Central do Estado. Entre outras vantagens, o cultivo do trigo permitirá ao produtor de leite utilizar as terras da propriedade em um período do ano que, normalmente, elas ficam ociosas.

Diante do exposto, este estudo teve como objetivo avaliar o efeito do número de sementes na semeadura sobre a produção de trigo para silagem.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Campo Experimental de Sertãozinho (EPAMIG), município de Patos de Minas, Minas Gerais, Brasil (18°32'23.14"S 46°27'27.40"O), altitude média de 950 metros. A semeadura foi realizada com uma semeadora de 13 linhas própria para plantio de cereais de grãos pequenos, sendo utilizada densidade de 70 sementes por metro linear. Utilizou-se irrigação com pivô central, com lâmina média semanal de 20 mm, totalizando 280 mm durante o período do experimento. A semeadura foi realizada em 01/07/2022 e a colheita efetuada em 04/10/2022. Foram aplicados 250 kg.ha⁻¹ de 08-28-16 na semeadura e 100 kg.ha⁻¹ de N em forma de 30-00-20 na cobertura.

A semeadura foi utilizada a cultivar MGS Brilhante (EPAMIG), de porte alto, resistente ao acamamento, e sem aristas, recomendada para cultivo de sequeiro no cerrado. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com cinco tratamentos e cinco repetições (Tabela 1). As parcelas experimentais constaram de cinco linhas de 5 m espaçadas de 0,20 m, totalizando 5 m² por parcela. Em cada parcela foram eliminados 0,5 m de cada extremidade, coletando-se os dados apenas nas três linhas centrais de cada parcela, correspondendo a uma área útil de 2,4 m².

Tabela1: Tratamentos (T) utilizados no experimento de trigo.
Patos de Minas (MG), 2022

| TRATAMENTO | DESCRIÇÃO |
|------------|------------------|
| T1 | 200 sementes.m-2 |
| T2 | 300 sementes.m-2 |
| T3 | 400 sementes.m-2 |
| T4 | 500 sementes.m-2 |
| T5 | 600 sementes.m-2 |

Os parâmetros avaliados foram: matéria fresca total de plantas de trigo, matéria seca total de plantas de trigo e porcentagem de grãos de trigo na matéria seca total.

Para avaliação de matéria fresca e seca, foi realizada a coleta das plantas na área útil da parcela. Posteriormente, o material coletado nas parcelas foi separado e identificado. Para obtenção da matéria fresca, as plantas foram pesadas logo após a colheita; para determinação da matéria seca, as plantas foram levadas para estufa de ventilação forçada por 72 horas a 65 °C.

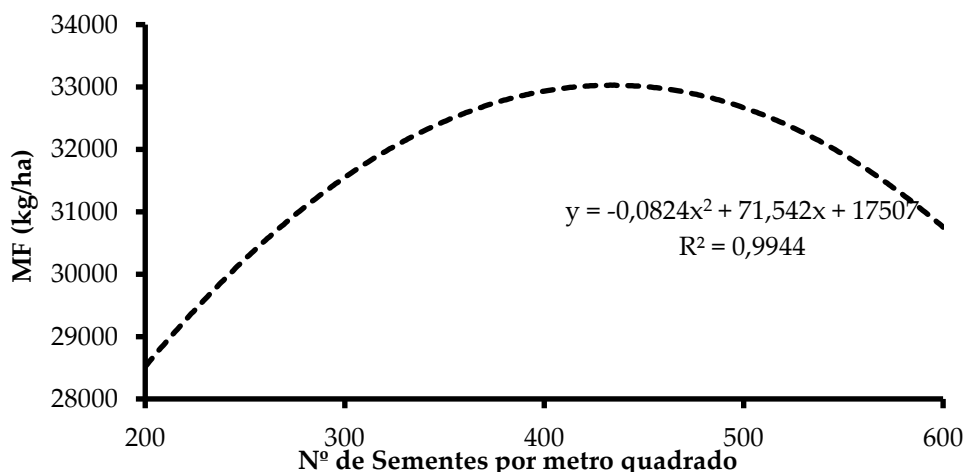
Para obtenção da porcentagem da massa de espigas na matéria seca das plantas de trigo, após a secagem da massa total das parcelas, a matéria seca das espigas de cada parcela foram separadas e pesadas isoladamente. Posteriormente, determinou-se o peso seco das espigas e a porcentagem que elas representavam da matéria total colhida em cada parcela.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de regressão (Ferreira, 2000). Adotou-se como critério de escolha dos modelos a significância dos coeficientes de regressão, o significado biológico do modelo ou o valor do coeficiente de determinação (R²).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 MATÉRIA FRESCA

Figura 1. Matéria fresca em função do número de sementes por metro quadrado no experimento conduzido no campo experimental de Sertãozinho/EPAMIG.
Patos de Minas (MG), 2022

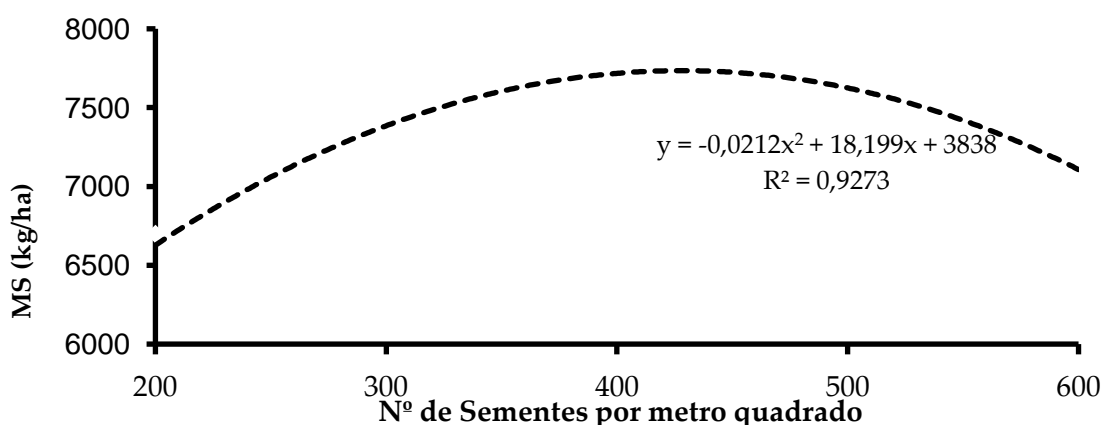


Em relação à produção de matéria fresca, houve resposta quadrática do número de sementes por metro quadrado, tendo assim uma queda em determinada quantidade de sementes, como pode ser observado no gráfico.

Observou-se que o ponto de máxima produção de matéria fresca foi obtido com a distribuição de 434,1 sementes por metro quadrado, correspondendo a uma produtividade de 33.016 toneladas de matéria fresca por hectare de trigo para forragem. Observou-se nas parcelas experimentais dos tratamentos onde a densidade de plantas foi menor que havia espaços vazios na linha de semeadura. A ausência de plantas refletiu diretamente na produção de matéria fresca. Outro fator que pode ter influenciado nos resultados pode ser a baixa capacidade de perfilhamento da cultivar MGS Brilhante. Observou-se que em média havia 2 ou 3 perfilhos por planta. Verificou-se que nas parcelas dos tratamentos com 500 ou 600 sementes por metro linear ocorreu uma competição entre plantas por espaço, refletindo em estiolamento da maioria das plantas, interferindo diretamente na capacidade delas de produzir matéria fresca. Demicheli *et al.* (2024) observaram que a densidade de sementes não afetou a produtividade de matéria fresca da cultivar MGS3 Brilhante quando submetida a diferentes níveis de adubação organomineral.

3.2 MATÉRIA SECA

Figura 2: Matéria seca em função do número de sementes.m-2 no experimento conduzido no Campo Experimental de Sertãozinho/EPAMIG. Patos de Minas (MG), 2022



Assim como a produção de matéria fresca, e nas condições em que o experimento foi conduzido, encontrou-se resposta quadrática para a produção de matéria seca; com o aumento da quantidade de sementes por metro quadrado ocorreu uma queda na produção de MS (Figura 2).

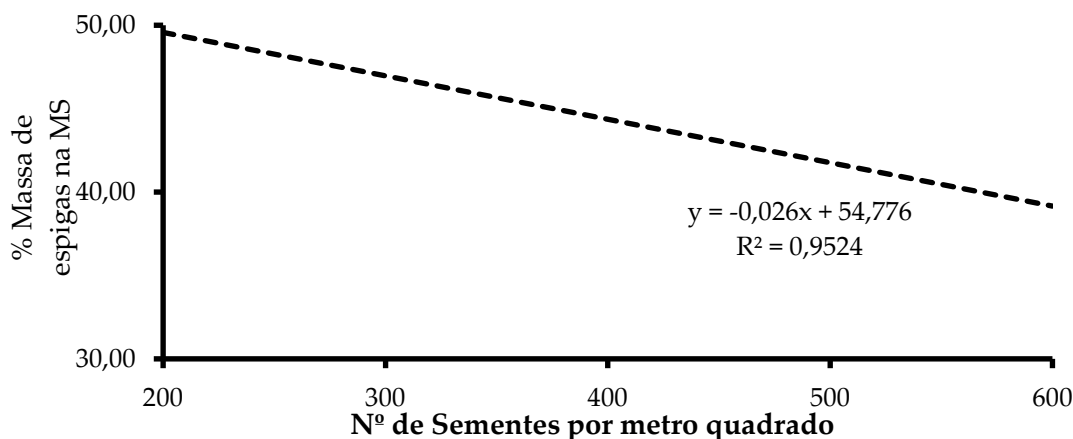
A produção máxima de matéria seca foi observada com a distribuição de 429,2 sementes por metro quadrado, correspondendo a uma produção de 7.843,7 kg de matéria seca de trigo para silagem por hectare. De acordo com os resultados obtidos na distribuição de sementes para a produção máxima de matéria fresca (434,1 sementes por metro quadrado), foi possível perceber que o número de sementes para a obtenção da

produção máxima de matéria seca estava muito próximo. Há uma razão lógica para esses resultados, pois a determinação da matéria seca passou apenas pela retirada da água da matéria fresca. Dessa forma, os mesmos fatores que influenciam na produção de matéria fresca estão relacionados com a produção de matéria seca, refletindo em uma resposta equivalente quanto ao número de sementes para a produção dos respectivos parâmetros. Demicheli *et al.* (2024) observaram que a adubação mineral proporcionou aumento da produção de matéria seca comparativamente à adubação organomineral. Entretanto, esses autores verificaram que, em média, a densidade de sementes não influenciou na produção de matéria seca da cultivar MGS3 Brilhante, sugerindo que pode haver uma compensação no stand de plantas quando o número de sementes na semeadura é menor.

3.3 PORCENTAGEM DA MASSA DAS ESPIGAS NA MATÉRIA SECA TOTAL

Nas condições em que o experimento foi conduzido, observou-se uma tendência de redução na porcentagem de espigas na matéria seca total com o acréscimo do número de sementes por metro quadrado (Figura 3). A participação da massa de espiga na matéria seca total foi superior na menor quantidade de sementes por metro quadrado, ou seja, na distribuição de 200 sementes por metro quadrado. Ocorreu uma redução linear na participação das espigas na matéria seca total com o aumento da densidade de sementes por metro quadrado. Provavelmente, onde houve populações menores de plantas de trigo, ocorreu maior disponibilidade dos recursos naturais por plantas individuais. Neste sentido, pode ter ocorrido maior translocação de água e nutrientes para os grãos, aumentando a massa deles, proporcionando espigas mais pesadas. Além de água e nutrientes, em populações menores de plantas por área, pode ter ocorrido maior disponibilidade de CO₂ e consequentemente maior taxa fotossintética das plantas, acarretando maior eficiência no enchimento de grãos e massa total das espigas.

Figura 3: Porcentagem da massa de espigas na matéria seca total de trigo em função do número de sementes por metro quadrado, no experimento conduzido no Campo Experimental de Sertãozinho/EPAMIG. Patos de Minas (MG), 2022



Valério *et al.* (2009) observaram que, para obtenção de máximo rendimento de grãos, utilizando genótipos com alto potencial de perfilhamento o número de sementes na semeadura varia entre 221 e 422 sementes por metro quadrado. Os autores também observaram que, quando foram utilizados genótipos com baixo potencial de perfilhamento, houve uma relação direta entre número de sementes na semeadura e produtividade de grãos. A cultivar MGS3 Brilhante utilizada neste trabalho foi selecionada no programa de melhoramento genético da EPAMIG devido a sua alta capacidade de perfilhamento em diferentes ambientes do Cerrado Mineiro. Dessa forma, os resultados apontados por Valério *et al.* (2009) aproximam-se dos resultados obtidos neste trabalho.

4 CONCLUSÃO

Nas condições em que o experimento foi conduzido, concluiu-se que: 1) a quantidade ótima de sementes para a cultivar MGS Brilhante visando obtenção de máxima produtividade de matéria fresca e matéria seca situou-se entre 429 e 434 sementes por metro quadrado; 2) a porcentagem de massa das espigas na matéria seca reduziu linearmente com o aumento do número de sementes por metro quadrado na semeadura.

Agradecimentos:

À FAPEMIG, pelo apoio financeiro aos projetos APQ-01566-21 e PPE-00041-21 e pela concessão de bolsas. A EPAMIG pelo apoio na infraestrutura necessária para condução dos projetos de pesquisa.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, I. V. O.; PIRES, A. J.V.; CARVALHO, G. G. P.; VELOSO, C. M.; BONOMO, P. Fracionamento de proteína e carboidratos em silagens de capim-elefante contendo subprodutos agrícolas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 11, p. 2342-2348, 2010.

ASSIS, F. G. V.; ÁVILA, C.; J. C.; SCHWAN, R. F.; New inoculants on maize silage fermentation. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 43, n. 8, p. 395-403, 2014.

COELHO, M. A. de O. Manejo das principais doenças e pragas na cultura do trigo em regiões tropicais do Brasil. **Informe Agropecuário. Trigo Tropical**, Belo Horizonte, v. 34, n. 274, p. 60-70, 2013.

COELHO, M. A. de O.; ARAÚJO, E. C. Qualidade da silagem de trigo em função do tempo de fermentação. **Revista Cerrado Agrociências**, v. 12: 43-54, 2021, Patos de Minas. 2021.

COMPANIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **2º Levantamento - Safra 25/26**. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/2o-levantamento-safra-2025-26/2o-levantamento-safra-2025-26>.

DEMICHELI, P. M.; ALBUQUERQUE, C. J.; COELHO, M. A. C.; MONÇÃO, F. P. Agronomic and bromatological characteristics of forage wheat under different fertilization managements and densities. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 37: e12195, 2024.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The state of world trade in wheat 2025**. Rome, Italy: FAO, 2025. 150 p.

FERREIRA, D. F. Análise estatística por meio do SISVAR (Sistema para Análise de Variância) para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais [...]**. São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.

VALÉRIO, I. P.; CARVALHO, F. I. F. D.; OLIVEIRA, A. C. D.; BENIN, G.; SOUZA, V. Q. D.; MACHADO, A. D. A. Seeding density in wheat genotypes as a function of tillering potential. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, n. 1, p. 28-39, 2009.

Captura de fêmeas da broca-do-café com utilização de armadilhas PET

Capture of coffee berry borer females using PET bottle traps

RAFAELA CAMILA BOMTEMPO

Discente de Agronomia (UNIPAM)

rafaelabomtempo@unipam.edu.br

WALTER VIEIRA DA CUNHA

Professor orientador (UNIPAM)

walter@unipam.edu.br

Resumo: A cafeicultura representa uma importante fonte de renda para a economia brasileira, proporcionando benefícios diretos e indiretos à população. No entanto, a produção de café é ameaçada por diversas pragas, sendo a broca-do-café (*Hypothenemus hampei*) a principal, responsável por perdas expressivas na qualidade e quantidade de grãos. Entre as ferramentas de monitoramento populacional, as armadilhas PET contendo atrativos voláteis têm apresentado resultados promissores. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência de diferentes modelos de armadilhas PET na captura de adultos de *H. hampei*. O experimento foi conduzido na Fazenda Aragão, em Patos de Minas (MG), em delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 3x3, com nove tratamentos e cinco repetições. Foram testados os modelos IAPAR, GENE 1 e GENE 3.1, com e sem atrativos (etanol + metanol + café torrado) e com e sem difusores. As avaliações foram realizadas semanalmente durante quatro meses, consistindo na contagem do número de brocas capturadas em cada armadilha no laboratório. Foram coletados também dados de temperatura, umidade e pluviosidade ao longo do período. Por fim, os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e à comparação de médias pelo teste de Tukey, com nível de significância de 5%. Os resultados demonstraram que a presença de atrativos aumentou significativamente a captura da praga, destacando-se os modelos GENE 1 e GENE 3.1, com médias superiores em relação ao modelo IAPAR. Além disso, verificou-se influência de variáveis climáticas, como umidade e pluviosidade, sobre os picos populacionais do inseto. Concluiu-se que armadilhas que continham atrativo capturaram 509% a mais de fêmeas de *H. hampei*, e os modelos GENE 1 e GENE 3.1, na captura, foram superiores estatisticamente ao modelo IAPAR.

Palavras-chave: atrativos voláteis; cafeicultura; controle populacional; pragas.

Abstract: Coffee farming represents an important source of income for the Brazilian economy, providing direct and indirect benefits to the population. However, coffee production is threatened by several pests, among which the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) is the most important, responsible for significant losses in grain quality and yield. Among population monitoring tools, PET bottle traps containing volatile attractants have shown promising results. Thus, this study aimed to evaluate the efficiency of different PET trap models in capturing adult *H. hampei*. The experiment was conducted at Fazenda Aragão, in Patos de Minas, Minas Gerais State, Brazil, using a randomized block design in a 3 × 3 factorial scheme, with nine treatments

and five replications. The IAPAR, GENE 1, and GENE 3.1 trap models were tested, with and without attractants (ethanol + methanol + roasted coffee) and with and without diffusers. Evaluations were performed weekly for four months and consisted of counting the number of borers captured in each trap under laboratory conditions. Data on temperature, humidity, and rainfall were also recorded throughout the experimental period. The data were subjected to analysis of variance, and means were compared using Tukey's test at a 5% significance level. The results showed that the presence of attractants significantly increased pest capture, with the GENE 1 and GENE 3.1 models presenting higher mean captures compared to the IAPAR model. In addition, climatic variables such as humidity and rainfall influenced population peaks of the insect. It was concluded that traps containing attractants captured 509% more *H. hampei* females, and that the GENE 1 and GENE 3.1 models were statistically superior to the IAPAR model in capture efficiency.

Keywords: volatile attractants; coffee farming; population control; pests.

1 INTRODUÇÃO

O setor cafeeiro é o segundo maior na geração e na circulação de dinheiro no mundo, perdendo apenas para o setor petrolífero. A cafeicultura representa uma importante fonte de renda para a economia brasileira, proporcionando benefícios diretos e indiretos. O Brasil é considerado o maior produtor de café arábica e o segundo maior mercado consumidor. Além disso, é responsável por cerca de 33% da produção mundial (Embrapa, 2024).

No entanto, a produção de café é ameaçada por uma variedade de pragas e doenças. Entre elas, a broca-do-café (*Hypothenemus hampei*) é considerada a principal praga nas regiões produtoras, atacando diretamente os frutos e causando perdas quantitativas e qualitativas na produção (Cantor; Benassi; Fanton, 2001). As perdas quantitativas, ou danos diretos, ocorrem devido à redução do peso dos grãos e queda dos frutos. As perdas qualitativas, ou danos indiretos, acontecem devido à perda da qualidade do café através da alteração do tipo de bebida (Reis *et al.*, 2010).

A broca-do-café possui um comportamento endofítico, passando todo seu ciclo de vida dentro do fruto, o que dificulta o seu controle (Damon, 2000). Esse inseto passa pela metamorfose completa, percorrendo as fases de ovo, larva, pupa e adulto. Apresenta ciclo biológico curto e tem grande capacidade de proliferação, sendo um importante problema fitossanitário (Laurentino; Costa, 2004). As fêmeas fecundadas perfuram o fruto na região da coroa, criando uma galeria através da polpa e, em seguida, perfuram o grão, onde ovipositam. Após a eclosão, as larvas se alimentam do endosperma, destruindo-o total ou parcialmente (Lima *et al.*, 2003).

Essas lesões causam danos, pois servem de porta de entrada para patógenos que, ao penetrar no grão, provocam o apodrecimento e a queda do fruto. No Brasil, as perdas anuais ultrapassam 300 milhões de dólares (Oliveira *et al.*, 2013; Mota *et al.*, 2017). A prática do manejo integrado de pragas é uma das melhores opções para combater a broca-do-café. Isso inclui a utilização de diversas técnicas de manejo, como o controle químico, biológico, cultural e comportamental (Okumura *et al.*, 2003).

Nesse sentido, o manejo comportamental por meio de armadilhas vem assumindo papel fundamental nos programas fitossanitários contra a broca-do-café.

Geralmente, essas armadilhas são pintadas em diferentes cores, sendo as vermelhas as mais atraentes para o inseto. Além disso, a broca-do-café apresenta atração aleloquímica por compostos voláteis do fruto, como álcoois, cetonas, aldeídos, terpenos e sesquiterpenos (Mathieu *et al.*, 1997). Armadilhas construídas com garrafas PET e contendo etanol, metanol e pó de café torrado demonstraram elevada eficiência na captura desse inseto (Almeida; Cunha, 2020). Com base nisso, passou a ser empregada a utilização de armadilhas contendo álcoois (etanol e metanol) para o manejo e controle dessa praga (Barrera *et al.*, 2007). Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo avaliar armadilhas modelo IAPAR, GENE 1 e GENE 3.1, na captura de fêmeas da broca-do-café, com utilização de armadilhas pet.

2 METODOLOGIA

2.1 DADOS SOBRE A ÁREA

O experimento foi conduzido na fazenda Aragão, situada no município de Patos de Minas (MG), a uma altitude de 845 metros, nas coordenadas geográficas de 18°39'29" S de latitude e 46°29'04" O de longitude. A área da pesquisa abrange 20 hectares e é cultivada a variedade Catucaí Vermelho, que tem 25 anos de idade, sendo um café de recepção. O espaçamento entre as linhas é de 4,0 metros, enquanto o espaçamento entre as plantas é de 0,5 metros. Além disso, a área possui sistema de irrigação por gotejamento.

2.2 TRATAMENTO UTILIZADO

O ensaio foi composto por um esquema fatorial 3x3, sendo o primeiro fator constituído por três modelos de armadilha (IAPAR, GENE 1 e GENE 3.1), e o segundo, constituído pelo uso de difusor e armadilhas com e sem atrativos (Metanol + Etanol 1:1 + Café torrado e moído 10 g). O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados (DBC), com nove tratamentos e cinco blocos, totalizando 45 parcelas, onde cada armadilha representava uma unidade experimental. Dessa forma, testaram-se três modelos de armadilhas, todas elas contendo o mesmo atrativo (Tabela 1). As armadilhas estavam dispostas a cinco linhas de distância da bordadura, com espaçamento de 10 linhas entre os blocos e 10 metros entre as armadilhas. Todas foram instaladas no terço médio da planta, com a abertura voltada para a linha (Fernandes *et al.* 2014).

Tabela 1: Tratamentos utilizados no estudo “Captura de fêmeas da broca-do-café com utilização de armadilhas pet”, juntamente com suas respectivas descrições e as armadilhas empregadas. Patos de Minas (MG), 2025

| Tratamentos | Atrativos | Armadilhas |
|-------------|------------------------------------------------------|------------------------|
| T1 | - | IAPAR |
| T2 | Metanol + Etanol (1:1) + Café torrado e moído (10 g) | IAPAR (com difusor) |
| T3 | Metanol + Etanol (1:1) + Café torrado e moído (10 g) | IAPAR (sem difusor) |
| T4 | - | GENEB 1 |
| T5 | Metanol + Etanol (1:1) + Café torrado e moído (10 g) | GENEB1 (com difusor) |
| T6 | Metanol + Etanol (1:1) + Café torrado e moído (10 g) | GENEB1 (sem difusor) |
| T7 | - | GENEB3.1 |
| T8 | Metanol + Etanol (1:1) + Café torrado e moído (10 g) | GENEB3.1 (com difusor) |
| T9 | Metanol + Etanol (1:1) + Café torrado e moído (10 g) | GENEB3.1 (sem difusor) |

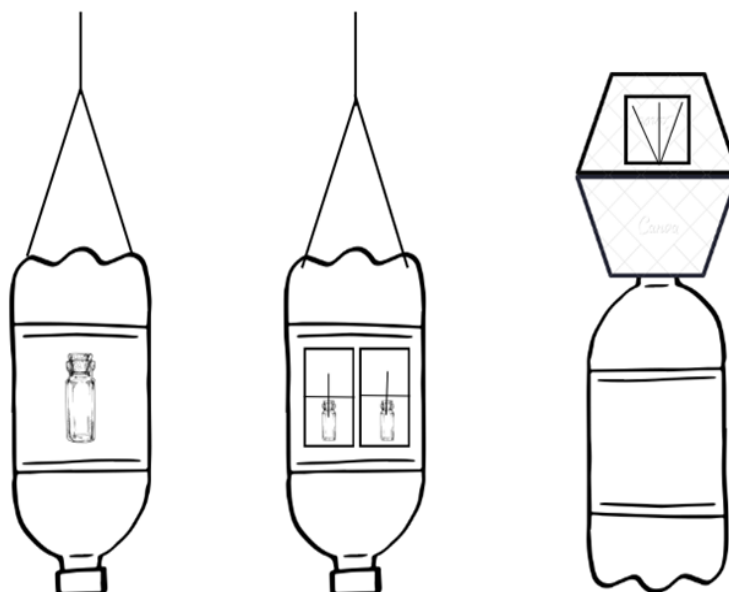
2.3 MATERIAIS UTILIZADOS E MONTAGEM DAS ARMADILHAS

As armadilhas utilizadas seguiram o modelo apresentado pelo IAPAR e os modelos apresentados pelo GENE B (Laboratório de Genética e Biotecnologia). Todas foram confeccionadas manualmente com garrafas PET de dois litros, pintadas com tinta a óleo vermelha. O modelo IAPAR possui uma abertura central de 15 cm x 10 cm na garrafa (Figura 1A). O modelo GENE B 1 apresenta duas aberturas de 8 cm x 5 cm em cada lado da garrafa, totalizando quatro aberturas. A abertura superior facilita a entrada da broca, enquanto a abertura inferior é utilizada para o posicionamento do frasco com atrativos (Figura 1B). Já o modelo GENE B 3.1 possui duas vasilhas plásticas de 9 cm x 15 cm coladas ao redor da abertura da garrafa, sendo que a segunda vasilha contém três aberturas de 6 cm x 5 cm para facilitar a entrada das brocas (Figura 1C). Na tampa da garrafa PET foi inserida uma rede para impedir que as brocas caíam dentro da garrafa onde está o atrativo.

Para a formulação do atrativo utilizado, foram preparadas soluções contendo 500 mL de metanol comercial, 500 mL de álcool etílico e 10 g de café puro torrado e moído, que foram adicionados aos frascos difusores (Oliveira; Cunha, 2017). O frasco foi amarrado ao centro da armadilha do modelo IAPAR, enquanto no modelo GENE B 1 foram utilizados quatro frascos difusores com os atrativos, um em cada lado; cada frasco contém 10 mL e possui um furo na tampa, no qual, em alguns tratamentos, foram inseridas varetas difusoras para emissão do aroma do atrativo. Esses dois modelos de armadilhas foram instalados com o fundo da garrafa voltado para cima, e na região da boca da garrafa foi colocada uma solução composta por 200 mL de água e 1 mL de detergente líquido, destinada à captura e afogamento da broca-do-café.

No modelo GENE B 3.1 o local e a quantidade de atrativo utilizado diferem dos demais modelos, sendo adicionados 500 mL de atrativo dentro da própria garrafa. Assim como nos modelos IAPAR e GENE B 1, adicionou-se uma solução composta por 200 mL de água e 1 mL de detergente para captura e afogamento da broca-do-café, porém, neste, a água foi acrescentada no recipiente entorno da boca da garrafa. Essa solução foi repostada a cada coleta de insetos capturados.

Figura 1: Modelos de armadilhas A: IAPAR; B: GENE B 1; C: GENE B 3.1 utilizadas no estudo “Captura de fêmeas da broca-do-café com utilização de armadilhas pet”.
Patos de Minas (MG), 2025



2.4 AVALIAÇÃO E ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os tratamentos foram avaliados semanalmente, ao longo de quatro meses (novembro a fevereiro), nos seguintes estádios fenológicos do cafeeiro: chumbinho (novembro), expansão (dezembro) e granação (janeiro/fevereiro), sendo as coletas realizadas em horário padronizado, às 13 horas. Dados de temperatura e precipitação foram coletados por meio de termo-higrômetro HTC -1 e pluviômetro. As coletas foram realizadas utilizando vasilhas plásticas transparentes e identificadas (Almeida; Cunha, 2020). Após a coleta, a solução foi encaminhada ao Laboratório de Genética e Biotecnologia (GENEB), do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), onde passou por uma peneira com pano para a identificação e a contagem das brocas-do-café; utilizou-se uma lupa. Os dados obtidos nas avaliações foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, posteriormente, ao teste de agrupamento de médias Scott-Knott, a 5% de probabilidade, utilizando o software Sisvar (Ferreira, 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme apresentado na Tabela 2, a presença de atrativos voláteis promoveu aumento significativo na captura de *Hypothenemus hampei*. Entre os modelos avaliados, as armadilhas GENE B 1 e GENE B 3.1 demonstraram maior eficiência, com médias de captura variando entre 23,8 e 27,2 indivíduos. Em contraste, o modelo IAPAR apresentou desempenho inferior, com médias entre 2,6 e 16 indivíduos capturados, evidenciando diferenças estatisticamente significativas em relação aos demais modelos.

Tabela 2: Média de adultos de *Hypothenemus hampei* capturados em modelos de armadilhas com e sem atrativos. “Captura de fêmeas da broca-do-café com utilização de armadilhas pet” Patos de Minas (MG), 2025

| Modelos armadilhas | Sem | Com Atrativo | |
|--------------------|----------|--------------|-------------|
| | Atrativo | 1 Difusor | Com Difusor |
| IAPAR | 2,6 Bb | 15,4 Ba | 16,0 Ba |
| GENEB 1 | 4,0 Ab | 23,8 Aa | 24,2 Aa |
| GENEB 3.1 | 4,0 Ab | 27,2 Aa | 22,4 Aa |
| CV (%) | 51,89 | | |
| DMS (%) | 7,186 | | |

*Médias seguidas por letras maiúsculas iguais nas colunas e por letras minúsculas iguais nas linhas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Os resultados evidenciam que a presença de atrativos voláteis influenciou diretamente a eficiência das armadilhas, confirmando que sua utilização é determinante para o monitoramento da broca-do-café.

Nos tratamentos sem atrativo, a eficiência foi limitada, especialmente no modelo IAPAR, cujo desempenho ficou abaixo do nível de controle indicado por Pereira (2006), que capturou uma quantidade de 4 a 7 brocas por armadilha. Por outro lado, os tratamentos com atrativos proporcionaram capturas significativamente maiores, corroborando os estudos de Silva, Ventura e Morales (2006) e Mendoza-Mora (1991), que relataram maior eficiência em armadilhas contendo compostos voláteis.

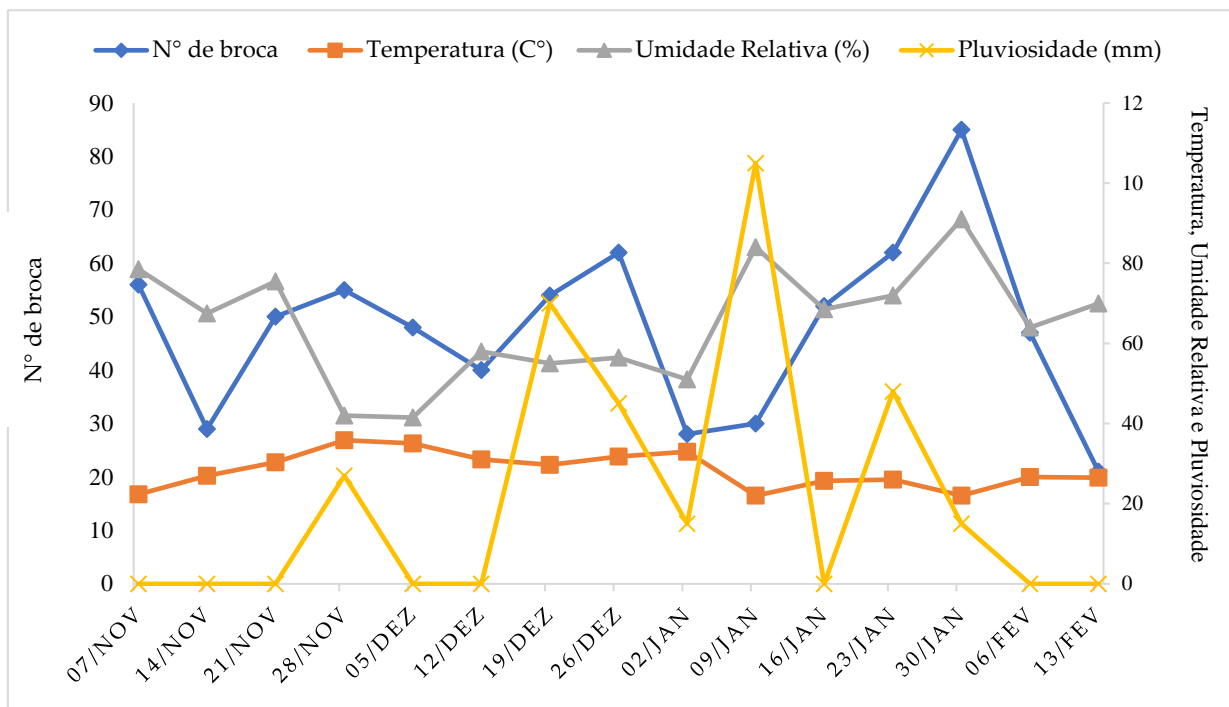
Entre os modelos avaliados, as armadilhas do tipo GENE B apresentaram desempenho superior em relação ao modelo IAPAR, confirmando as observações de Madalon (2024), que identificou menor eficiência no modelo IAPAR quando comparado com outros modelos de armadilhas comerciais, mesmo com difusores padronizados.

Os fatores que influenciam o aumento ou diminuição da população de um inseto podem ser de origem química, física e biológica (Bayley *et al.*, 2018; Villegas *et al.*, 2021; Nguyen *et al.*, 2021). Para monitoramento de populações de insetos, as amostragens com armadilhas são fundamentais e podem informar correlações precisas no MIP (Ding e Taylor, 2016; Murtaza *et al.*, 2019; Rydhmer *et al.*, 2022).

Os dados apresentados na Figura 2 evidenciam que os picos populacionais de *Hypothenemus hampei* coincidiram com períodos de maiores temperaturas e umidade relativa do ar. Verificou-se, ainda, que aumentos na pluviosidade antecederam incrementos no número de indivíduos capturados, indicando associação direta entre variáveis climáticas e a flutuação da população da praga.

Os resultados obtidos confirmam que fatores abióticos como umidade e pluviosidade, exercem influência direta sobre a biologia e o comportamento da broca-do-café. Em seu trabalho, Cure *et al.* (1998) ressaltam que, após a consolidação da população, a atividade da broca pode ser influenciada pela disponibilidade de frutos, condições ambientais, umidade que afetam diretamente seu metabolismo.

Figura 2: Dados de temperatura, umidade e pluviosidade obtidos no trabalho: “Captura de fêmeas da broca-do-café com utilização de armadilhas pet” Patos de Minas (MG), 2025



A umidade relativa apresenta efeito direto sobre frutos secos, visto que baixos índices promovem rápida desidratação, reduzindo a multiplicação do inseto (Cárdenas, 2002). Além disso, a saída das fêmeas colonizadoras dos frutos é influenciada por luminosidade e umidade, permitindo a colonização de novos hospedeiros (Mathieu *et al.*, 1999).

A literatura aponta ainda que a temperatura e a pluviosidade têm efeito direto sobre o ciclo de vida e a taxa de multiplicação de *H. hampei* (Silva *et al.*, 2013). Desse modo, condições de altas temperaturas associadas a chuvas intercaladas favorecem a praga, reduzindo seu ciclo e aumentando sua atividade biótica. Diante disso, Ferreira *et al.* (2003) destacam que baixos índices de umidade relativa do ar e baixas temperaturas podem limitar o desenvolvimento do inseto, reduzindo sua capacidade reprodutiva.

De acordo com trabalho de Vega *et al.* (2009), chuvas fortes após períodos secos, estimulam a revoada das primeiras fêmeas colonizadas de *H. hampei* no campo, que são estimuladas a emergir quando há umidade relativa acima de 90%.

A integração desses fatores possibilita a elaboração de modelos de estimativa populacional mais consistentes, capazes de orientar o manejo integrado e indicar os momentos mais oportunos para o controle da praga. No entanto, devido à reduzida captura de brocas-do-café na área, que apresentava baixa infestação, novos estudos são necessários para avaliar se a tendência de desempenho superior dos modelos GENEB em relação ao modelo IAPAR se mantém, sendo recomendável ampliar o período de avaliação.

4 CONCLUSÃO

Armadilhas que continham atrativo capturaram 509% a mais de fêmeas de *H. hampei*, e os modelos GENE 1 e GENE 3.1 foram superiores estatisticamente ao modelo IAPAR.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, C. D.; CUNHA, W. V. Monitoramento de *Hypothenemus hampei* com a utilização de armadilhas PET e contagem de frutos brocados. **Revista Cerrado Agrocências**, Patos de Minas, n. 11, p. 106-112, 2020. Disponível em: <https://revistas.unipam.edu.br/index.php/cerradoagrocencias>.
- BARRERA, J.; VILLACORTA, J. H.; HEBER, G.; CRUZ, L. Aplicación de trampas para el monitoreo de la broca del café. In: WORKSHOP INTERNACIONAL SOBRE MANEJO DA BROCA-DO-CAFÉ, 2007, Londrina. **Proceedings...** Londrina: IAPAR, 2007, p. 95-112.
- BAYLEY, J. S.; WINTHER, C. B.; ANDERSEN, M. K.; GRONKJAER, C.; NIELSEN, O. B.; PEDERSEN, T. H.; OVERGAARD, J. Cold exposure causes cell death by depolarization-mediated Ca²⁺ overload in a chill-susceptible insect. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 115, n. 41, p. E9737-E9744, 2018.
- CANTOR, F.; BENASSI, V. L. R. M.; FANTON, C. J. Broca-do-café, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). In: VILELA, E. F.; ZUCCHI, R. A.; CANTOR, F. (Eds.). **Histórico e impacto das pragas introduzidas no Brasil**. Ribeirão Preto: Holos, 2001, p. 99-103.
- CÁRDENAS, R. R. **Modelagem da distribuição espaço temporal da broca do café (*Hypothenemus hampei* Ferrari) em uma cultura da região central colombiana**. Piracicaba, 2002. 120 p. Dissertação (mestrado). Escola Superior de Agricultura Luís de Queiroz, 2002.
- CURE, J. R. *et al.* Fenologia e dinâmica populacional da broca-do-café *Hypothenemus hampei* (Ferr.) relacionadas às fases de desenvolvimento do fruto. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, 27, p. 325-335, 1998.
- DAMON, A. A review of the biology and control of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). **Bulletin of Entomological Research**, v. 90, n. 6, p. 453-465, 2000.
- DING, W.; TAYLOR, G. Automatic moth detection from trap images for pest management. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 123, p. 17-28, 2016.

EMBRAPA. **Produção mundial de café foi estimada em 176,2 milhões de sacas de 60Kg para a safra 2024-2025.** 2024. Disponível em: https://portal-h.sede.embrapa.br/cafe/busca-de-noticias/-/noticia/91004784/artigo---producao-mundial-de-cafe-foi-estimada-em-1762-milhoes-de-sacas-de-60kg-para-a-safra-20242025?p_auth=tHNaFxkw.

FERNANDES, F. L. *et al.* Controle massal da broca-do-café com armadilhas de garrafa Pet vermelha em cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 8, p. 587-594, 2014.

FERREIRA, A. J.; MIRANDA, J. C.; BUENO, V. H. P.; ECOLE, C. C.; CARVALHO, G. A. Bioecologia da broca-do-café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Scolytidae), no agroecossistema cafeeiro do cerrado de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 2, p. 422-431, mar./abr. 2003.

FERREIRA, D. F. Sisvar: um sistema de análise estatística computacional. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, dez. 2011.

LAURENTINO, E.; COSTA, J. N. M. **Descrição e caracterização biológica da broca-do-café (*Hypothenemus hampei*, Ferrari 1867) no Estado de Rondônia.** Porto Velho: Embrapa Rondônia. 2004, 21 p. (Embrapa Rondônia. Documentos, 90).

LIMA, E. R. *et al.* Emprego de semioquímicos no manejo de pragas do café. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Produção integrada de café.** Viçosa: UFV, 2003. p. 47-66.

MADALON, Fernando Zanotti. **Densidade populacional e área de amostragem para a broca-do-café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari), por meio de armadilhas com semioquímicos.** 2024. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2024.

MATHIEU, F.; BRUN, L. O.; FRÉROT, B.; SUCKLING, D.; FRAMPTON, C. Progression in field infestation is linked with trapping of coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Col., Scolytidae). **J. Appl. Entomol.**, Blackwell Wissenschafts- Verlag, Berlin n. 123, p. 535-540. 1999.

MATHIEU, F.; BRUN, L. O.; MARCHILLAUD, C.; FRÉROT, B. Trapping of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei* Ferr. (Col., Scolytidae) within a mesh-enclosed environment; interaction of olfactory and visual stimuli. **Journal of Applied Entomology**, Berlin, v. 121, p. 181-186, 1997.

MENDOZA-MOORA, J. R. **Resposta da broca-do-café, *Hypothenemus hampei*, a estímulos visuais e semioquímicos,** 1991. 44p. Tese (Entomologia) - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil, 1991.

MOTA, L. H. C., SILVA, W. D., SERMARINI, R. A., DEMÉTRIO, C. G. B., BENTO, J. M. S., DELALIBERA JR., I. Autoinoculation trap for management of *Hypothenemus hampei* (Ferrari) with *Beauveria bassiana* (Bals.) in coffee crops, **Biological Control**, v. 111, p. 32-39, 2017.

MURTAZA, G.; RAMZAN, M.; GHANI, M. U.; MUNAWAR, N.; MAJEED, M.; PERVEEN, A.; UMAR, K. Effectiveness of different traps for monitoring sucking and chewing insect pests of crops. **Egyptian Academic Journal of Biological Sciences. A, Entomology**, v. 12, n. 6, p. 15-21, 2019.

NGUYEN, T.N.M.; CHOO, A.; BAXTER, S.W. Lessons from Drosophila: Engineering Genetic Sexing Strains with Temperature-Sensitive Lethality for Sterile Insect Technique Applications. **Insects**, 12(3): 243. 2021.

OKUMURA, A. S. K. *et al.* Controle da broca-do-café (*Hypothenemus hampei*) FERRARI em terreiros de secagem de café. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 24, n. 2, p. 277-282, jul./dez. 2003.

OLIVEIRA, André Luís Caixeta de; CUNHA, Walter Vieira da. Monitoramento da broca-do-café (*Hypothenemus hampei*) com o uso de diferentes armadilhas contendo semioquímicos. **Revista Perquirere**, Patos de Minas, v. 14, n. 2, p. 221-226, maio/ago. 2017. Disponível em: <https://revistas.unipam.edu.br/index.php/perquirere>.

OLIVEIRA, C. M., AUAD, A. M., MENDES, S. M., FRIZZAS, M. R. Economic impact of exotic insect pests in Brazilian agriculture. **Journal of Applied Entomology**, v.137, n. 1-2, p.1-15, 2013.

PEREIRA, A. E. **Uso de armadilha visando geração de nível de ação e correlação entre captura e infestação de *Hypothenemus hampei* na cultura do café.** Dissertação (Mestrado em Entomologia). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2006.

REIS, P. R. *et al.* Manejo integrado das pragas do cafeeiro, p. 573-688. In: REIS, P. R.; CUNHA, R. L. da (Eds.). **Café arábica: do plantio à colheita**. Lavras: EPAMIG Sul de Minas, 2010. 896 p.

RYDHMER, K.; BICK, E.; STILL, L.; STRAND, A.; LUCIANO, R.; HELMREICH, S.; NIKOLAJSEN, T. Automating insect monitoring using unsupervised near-infrared sensors. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 1-11, 2022.

SILVA, B. S. O. *et al.* Variabilidade espacial de *Hypothenemus hampei* no café conilon. In: VIII SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL. Salvador, novembro, 2013.

SILVA, F. C. da; VENTURA, M. U.; MORALES, L. Capture of *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera, Scolytidae) in response to trap characteristics. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 63, p. 567-571, 2006.

VEGA, F. E.; INFANTE, F.; CASTILLO, A.; JARAMILLO, J. The coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae): a short review, with recent findings and future research directions. **Terrestrial Arthropod Reviews**, Washington, v. 2, p. 129-147, 2009.

VILLEGAS, J. M.; WILSON, B. E.; WAY, M. O. Management of stemborers (Lepidoptera: Crambidae) using foliar-applied chlorantraniliprole in rice. **Florida Entomologist**, v. 104, n. 4, p. 274-281, 2021.