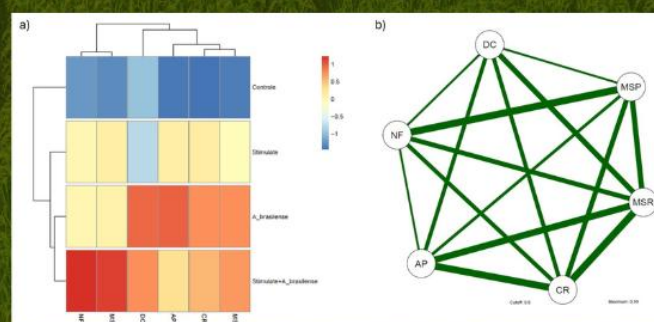
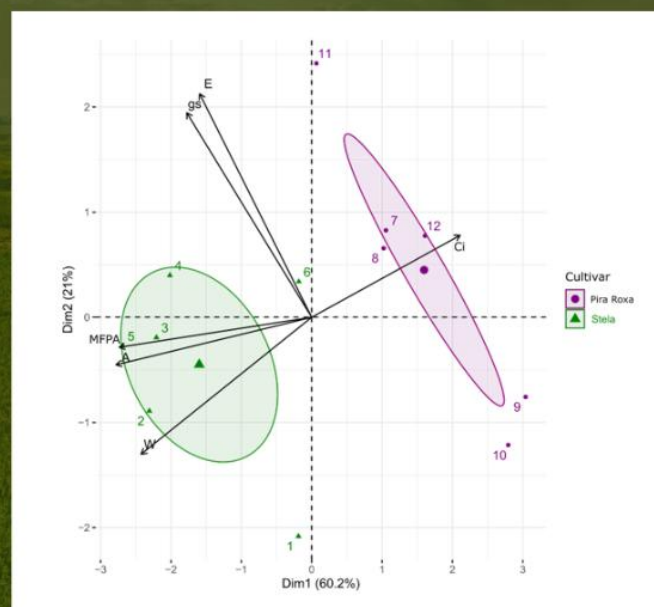


Jorge González Aguilera
Leandris Argente-Mantínez
Alan Mario Zuffo
Bruno Rodrigues de Oliveira
Fábio Steiner

Organizadores

**Análise
Multivariada:
aplicações
nas ciências
biológicas**
Volume I



Jorge González Aguilera
Leandris Argente!-Mantínez
Alan Mario Zuffo
Bruno Rodrigues de Oliveira
Fábio Steiner
Organizadores

Análise multivariada: aplicações nas
ciências biológicas
Volume I



Pantanal Editora

2025

Copyright© Pantanal Editora

Editor Chefe: Dr. Alan Mario Zuffo

Editores Executivos: Dr. Jorge González Aguilera e Dr. Bruno Rodrigues de Oliveira

Diagramação: A editora. **Diagramação e Arte:** A editora. **Imagens de capa e contracapa:** Canva.com. **Revisão:** O(s) autor(es), organizador(es) e a editora.

Conselho Editorial

Grau acadêmico e Nome

Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos
Profa. MSc. Adriana Flávia Neu
Profa. Dra. Albys Ferrer Dubois
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior
Profa. MSc. Aris Verdecia Peña
Profa. Arisleidis Chapman Verdecia
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva
Prof. Dr. Bruno Gomes de Araújo
Prof. Dr. Caio Cesar Enside de Abreu
Prof. Dr. Carlos Nick
Prof. Dr. Claudio Silveira Maia
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos
Prof. Dr. Cristiano Pereira da Silva
Profa. Ma. Dayse Rodrigues dos Santos
Prof. MSc. David Chacon Alvarez
Prof. Dr. Denis Silva Nogueira
Profa. Dra. Denise Silva Nogueira
Profa. Dra. Dennyura Oliveira Galvão
Prof. Dr. Elias Rocha Gonçalves
Prof. Me. Ernane Rosa Martins
Prof. Dr. Fábio Steiner
Prof. Dr. Fabiano dos Santos Souza
Prof. Dr. Gabriel Andres Tafur Gomez
Prof. Dr. Hebert Hernán Soto Gonzáles
Prof. Dr. Hudson do Vale de Oliveira
Prof. MSc. Javier Revilla Armesto
Prof. MSc. João Camilo Sevilla
Prof. Dr. José Luis Soto Gonzales
Prof. Dr. Julio Cezar Uzinski
Prof. MSc. Lucas R. Oliveira
Prof. Dr. Luciano Façanha Marques
Profa. Dra. Keyla Christina Almeida Portela
Prof. Dr. Leandro Argentel-Martínez
Profa. MSc. Lidiene Jaqueline de Souza Costa Marchesan
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann
Prof. MSc. Marcos Pisarski Júnior
Prof. Dr. Marcos Pereira dos Santos
Prof. Dr. Mario Rodrigo Esparza Mantilla
Profa. MSc. Mary Jose Almeida Pereira
Profa. MSc. Núbia Flávia Oliveira Mendes
Profa. MSc. Nila Luciana Vilhena Madureira
Profa. Dra. Patrícia Maurer
Profa. Dra. Queila Pahim da Silva
Prof. Dr. Rafael Chapman Auty
Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke
Prof. Dr. Raphael Reis da Silva
Prof. Dr. Renato Jaqueto Goes
Prof. Dr. Ricardo Alves de Araújo (*In Memoriam*)
Profa. Dra. Sylvana Karla da Silva de Lemos Santos
Prof. Dr. Tayronne de Almeida Rodrigues
Prof. Dr. Ugur Azizoglu
Prof. Dr. Wéverson Lima Fonseca
Prof. MSc. Wesclen Vilar Nogueira
Profa. Dra. Yilan Fung Boix
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme

Instituição

OAB/PB
Mun. Faxinal Soturno e Tupanciretã
UO (Cuba)
IF SUDESTE MG
Facultad de Medicina (Cuba)
ISCM (Cuba)
UFESSPA
UEA
UNEMAT
UFV
AJES
UFGD
UEMS
IFPA
UNICENTRO
IFMT
UFMG
URCA
ISEPAM-FAETEC
IFG
UEMS
UFF
(Colômbia)
UNAM (Peru)
IFRR
UCG (México)
Rede Municipal de Niterói (RJ)
UNMSM (Peru)
UFMT
SED Mato Grosso do Sul
UEMA
IFPR
Tec-NM (México)
Consultório em Santa Maria
UFJF
UEG
FAQ
UNAM (Peru)
SEDUC/PA
IFB
IFPA
UNIPAMPA
IFB
UO (Cuba)
UFMS
UFPI
UFG
UEMA
IFB
Sec. Mun. de Educação, Cultura e Tecnologia de Araripe
Universidade Kayseri, Türkiye
UFPI
FURG
UO (Cuba)
UFT

Conselho Técnico Científico
- Esp. Joacir Mário Zuffo Júnior
- Esp. Maurício Amormino Júnior
- Lda. Rosalina Eufrausino Lustosa Zuffo

Ficha Catalográfica

Catálogo na publicação
Elaborada por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

A532

Análise multivariada: aplicações nas ciências biológicas - Volume I / Organização de Jorge González Aguilera, Leandris Argente-Mantínez, Alan Mario Zuffo, et al. – Nova Xavantina-MT: Pantanal, 2025. 70p. ; il.

Outros organizadores: Bruno Rodrigues de Oliveira, Fábio Steiner.

Livro em PDF

ISBN 978-65-85756-70-9

DOI <https://doi.org/10.46420/9786585756709>

1. Métodos e técnicas em biologia. I. Aguilera, Jorge González (Organizador). II. Argente-Mantínez, Leandris (Organizador). III. Zuffo, Alan Mario (Organizador). IV. Título.

CDD 570.1

Índice para catálogo sistemático

I. Métodos e técnicas em biologia



Nossos e-books são de acesso público e gratuito e seu download e compartilhamento são permitidos, mas solicitamos que sejam dados os devidos créditos à Pantanal Editora e também aos organizadores e autores. Entretanto, não é permitida a utilização dos e-books para fins comerciais, exceto com autorização expressa dos autores com a concordância da Pantanal Editora.

Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000.
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil.
Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp).
<https://www.editorapantanal.com.br>
contato@editorapantanal.com.br

Apresentação

A Editora Pantanal apresenta o e-book “Análise Multivariada: aplicações nas ciências biológicas Volume I”, uma obra que consolida a missão de divulgar conhecimento científico de forma acessível, multidisciplinar e de qualidade. Este volume reúne pesquisas e reflexões atuais das possíveis aplicações das técnicas multivariadas (TM) nas áreas de ciências biológicas, elaboradas por estudantes de mestrado da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Cassilândia, MS. Os trabalhos incluem resultados aplicados recentemente ao Cerrado Sul-mato-grossense.

Os estudos destacam inicialmente dois capítulos que abordam o controle químico do trips-do-prateamento na cultura do amendoim e como o controle pode ser feito com pulverização foliar ou aplicação no sulco de semeadura com uso de produtos químicos e biológicos. Nestes capítulos se observa que ao empregar TM facilita-se o entendimento dos resultados facilitando a escolha dos melhores tratamentos. Um terceiro capítulo mostra cultivares de alface sendo influenciadas após a aplicação de nicotinamida, piridoxina e *Azospirillum brasilense*. Um quarto capítulo traz resultados relacionados aos efeitos da deficiência hídrica no desenvolvimento do sorgo no Cerrado Sul-mato-grossense. Por último, o capítulo quinto traz a experiência que aborda o desenvolvimento inicial de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar sob aplicação de bioestimulante e *Azospirillum brasilense*.

Os resultados mostrados evidenciam o poder de discriminação que as análises multivariadas têm e como elas podem ser aplicadas em diversas culturas e tratamentos para melhor reconhecer as interações que entre eles surgem ao conduzir um experimento de campo ou condições controladas. Estes achados mostram como o uso de bioinsumos, principalmente *Azospirillum brasilense*, continua sendo uma ferramenta de destaque na agricultura na remediação muitas vezes de estresses abióticos. Esta nova coleção de conteúdo inédito em seu primeiro Volume reafirma o compromisso da Editora Pantanal com a produção e disseminação do conhecimento científico, estimulando práticas inovadoras, sustentáveis e socialmente relevantes. Trata-se de um compromisso constante pela excelência das obras propostas direcionado a estudantes, professores, pesquisadores e todos aqueles que buscam compreender e intervir de forma crítica e transformadora nos desafios contemporâneos nas ciências biológicas e áreas afins.

Os organizadores

Sumário

Apresentação	4
Capítulo 1	6
Análise multivariada no controle químico do tripses-do-prateamento em pulverização foliar na cultura do amendoim	6
Capítulo 2	15
Controle de tripses-do-prateamento pelo tratamento de sementes ou pulverização no sulco de semeadura do amendoim	15
Capítulo 3	26
Desempenho fisiológico e produtivo de cultivares de alface sob aplicação de nicotinamida, piridoxina e <i>Azospirillum brasilense</i>	26
Capítulo 4	37
Deficiência hídrica afeta o desenvolvimento do sorgo (<i>Sorghum bicolor</i> L.)	37
Capítulo 5	46
Desenvolvimento inicial de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar sob aplicação de bioestimulante e <i>Azospirillum brasilense</i>	46
Capítulo 6	59
Efeito da aplicação de diferentes doses de níquel e nitrogênio no desempenho do gergelim (<i>Sesamum indicum</i> L.)	59
Índice Remissivo	68
Sobre os organizadores	69

Análise multivariada no controle químico do tripses-do-prateamento em pulverização foliar na cultura do amendoim

Recebido em: 20/11/2025

Aceito em: 09/12/2025

 10.46420/9786585756709cap1

Bruno Berrocal Marson 

Giovanna Santos Tinós 

Yago Custódio da Silva 

João Pedro da Silva 

Marcos Doniseti Michelotto 

INTRODUÇÃO

Dentre as pragas que atacam o amendoim (*Arachis hypogaea* L.) no Brasil, destacam-se os tripses-do-prateamento (*Enneothrips enigmaticus*), pela alta população generalizada e prejuízos causados à cultura (Pirotta et al., 2025). Tanto ninfas, quanto adultos provocam danos característicos nas plantas, realizando raspagens nas faces adaxial e abaxial das folhas, além de sugar a seiva dos vasos foliares, o que resulta em descoloração e perda da capacidade fotossintética (Lima et al., 2022).

A ausência do controle de *E. enigmaticus* geralmente causa danos economicamente significativos, provocando redução de crescimento e produção (Pinto et al., 2025), se agravando dependendo do nível populacional da praga, do cultivar e da região de plantio.

O controle químico se destaca como uma das principais e mais eficientes ferramentas para o manejo e redução dos danos causados por essa praga (Michelotto et al., 2019). Existem diversas formas de utilização e mecanismos de ação de inseticidas, variando desde tratamento de sementes para proteção ao ataque inicial até aplicações foliares para o controle do tripses ao longo de todo o ciclo de desenvolvimento da cultura (Pravalika et al., 2023).

A realização do tratamento de sementes e pulverização foliar, mesmo de forma isolada, já contribuem para a redução das perdas de produtividade. Entretanto, quando associados, proporcionam uma redução de aproximadamente 65% dos danos foliares causados por tripses, consequentemente aumentando a produtividade final da cultura (Pravalika et al., 2023).

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficácia de diferentes inseticidas químicos aplicados via pulverização foliar no controle do tripses, e seus reflexos no controle populacional e produtividade em amendoim.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado no dia 26 de novembro de 2024, no município de Elisiário-SP (21°08'51" S, 49°02'43" W, altitude 516 m). Foi utilizado o delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro repetições por tratamento, com parcelas constituídas por quatro linhas de 5 m com espaçamento de 0,9 m.

Foram utilizadas sementes de amendoim da cultivar IAC 503, cultivar de ciclo longo, que varia de 130 a 140 dias. A cultivar apresenta hábito de crescimento rasteiro indeterminado, sendo resistente a doenças foliares como mancha preta e ferrugem. As sementes foram fornecidas pelo Instituto Agrônômico (IAC), semeadas na densidade de 20 sementes por metro linear. Todas as sementes, independente dos tratamentos, foram previamente tratadas via tratamento de sementes (TS) com Vitavax-Thiram e Certeza N (2,0 ml de cada produto comercial por kg de semente), para proteção inicial contra fungos e tratadas com Cruiser 350 FS (2,0 ml do produto comercial por kg de semente) para proteção inicial contra tripes. Esse tratamento inicial foi padronizado e realizado para garantir condições adequadas e uniformidade de germinação, emergência e estabilização das plântulas. O TS realizado com inseticida teve ainda a finalidade de uniformizar as condições de infestação por tripes até o momento da primeira aplicação foliar dos tratamentos.

Os tratamentos de inseticidas foram utilizados isoladamente e aplicados de acordo com a Tabela 1. As aplicações dos produtos foram realizadas com pulverizador costal de CO₂ pressurizado (2 L), com barra lateral de 5 m com seis pontas leque do tipo 11003, pressão de trabalho de pulverização de 30 lb pol⁻² e conferindo volume de calda de 200 L ha⁻¹.

Tabela 1. Descrição dos tratamentos utilizados em aplicação foliar, safra 2024/25.

Tratamento	Dosagem	Ativo e dosagem (gramas ha ⁻¹)
T1. Testemunha	-	-
T2. Engeo Pleno	300 mL ha ⁻¹	Tiametoxan (42,3 g) + Lambda-cialotrina (31,8 g)
T3. Prêmio Star 0,3 L	300 mL ha ⁻¹	Clorantraniliprole (18,0 g) + Bifentrina (58,5 g)
T4. Prêmio Star 0,4 L	400 mL ha ⁻¹	Clorantraniliprole (24,0 g) + Bifentrina (78,0 g)
T5. Pirate	800 mL ha ⁻¹	Clorfenapir (192,0 g)
T6. Hero	200 mL ha ⁻¹	Zeta-cipermetrina (40,0 g) + Bifentrina (36,0g)

Ao todo foram realizadas seis aplicações ao longo do ciclo, aos 27, 41, 52, 65, 78 e 91 DAS (dias após a semeadura). O experimento foi conduzido realizando-se os devidos controles de doenças fúngicas foliares, segundo as recomendações para a cultura, sendo as aplicações de fungicidas realizadas juntamente às pulverizações dos tratamentos.

A amostragem de tripes presentes nas plantas de cada parcela dos respectivos tratamentos foi realizada no mesmo dia da pulverização (amostragem pré-aplicação) e outra amostragem em média 5 dias

após a pulverização (amostragem pós-aplicação). As amostragens de pós-aplicação foram realizadas nos períodos de 27, 41, 52, 65, 78 e 91 DAS. Para a análise dos resultados, foi considerada a média do número de ninfas e adultos obtidos nas seis avaliações de pré e pós-aplicação realizadas ao longo do ciclo da cultura. Para isso foi realizada a contagem do número de insetos presentes em 10 folíolos jovens, ainda fechados, amostrados ao acaso por parcela. Para a avaliação das injúrias ocasionadas pelo trips *E. enigmaticus*, foi aplicada uma escala de nota de sintomas visuais (Tabela 2) inspirada nas escalas visuais clássicas de severidade foliar (Horsfall; Barratt, 1945) variando de 0 (ausência de sintomas de injúria), 1 (até 10% do folíolo com injúrias), 3 (entre 11 e 30% do folíolo com injúrias), 6 (entre 31 e 60% do folíolo com injúrias) e 9 (acima de 60% do folíolo com injúrias).

Tabela 2. Escala de notas de sintomas de trips-do-prateamento (Michelotto, 2022).

				
0	1	3	6	9
0 – ausência de sintomas	1 – Até 10% do folíolo atacado	3 – Entre 11 e 30% do folíolo atacado	6 – Entre 31 e 60% do folíolo atacado	9 – Acima de 60% de ataque

Para determinar a produtividade estimada de amendoim em vagens (kg ha^{-1}) foi efetuada a colheita das vagens das plantas das duas linhas centrais aos 145 DAS. Após a inversão e secagem das plantas, as vagens foram beneficiadas e secas para obtenção do peso seco de vagens (padronização a 8% de umidade).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F e quando constatado efeito significativo de tratamento, as médias foram agrupadas pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade. Os dados originais de número de insetos e de notas de sintomas visuais foram transformados pela operação de raiz quadrada com a fórmula $\sqrt{(x+0,5)}$.

Além da ANOVA, os dados obtidos foram empregados numa análise multivariada. Foi realizado o agrupamento empregando as médias de todas as variáveis medidas no experimento. As distâncias foram estimadas pelo método de distância Euclidiana e, em seguida, agrupados por meio do método hierárquico UPGMA (*Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean*) em combinação com o método de agrupamento de Tocher (Bhering, 2017). Quando observado efeito significativo nos agrupamentos, as médias dos grupos foram visualizadas através de gráficos de calor (heatmap), com o dendrograma sendo cortado a um valor de $k = 1,25$, segundo o método descrito por Mojema (1977), facilitando a definição da quantidade de grupos. Na realização das análises foram empregados os pacotes: biotools, ape, factoextra, pheatmap, d3pheatmap e ComplexHeatmap no software Rbio (Bhering, 2017). No

gráfico de calor, a cor vermelha representa um valor alto, enquanto a cor azul indica um valor baixo para as variâncias.

RESULTADOS

Na avaliação média de ninfas em Pré e Pós-aplicação dos inseticidas (Figura 1), que ocorriam cerca de 5 dias após a aplicação, verificou-se que, diferenças significativas entre os tratamentos foram obtidas apenas nas avaliações Pós-aplicação dos inseticidas. Na avaliação Pós-aplicação dos inseticidas com exceção do inseticida Hero que não se diferiu da testemunha, todos os demais apresentaram redução significativa no número de ninfas (Figura 1b).

Na avaliação média de adultos em Pré e Pós-aplicação dos inseticidas (Figura 2), verificou-se que, todos os inseticidas aplicados resultaram na redução significativa no número de insetos adultos em relação à testemunha, apenas na Pós-aplicação dos inseticidas (Figura 2b).

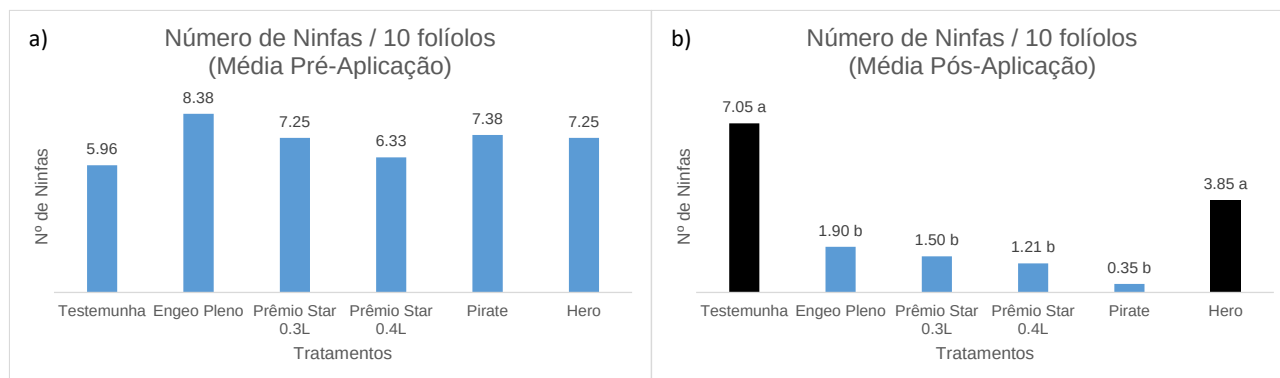


Figura 1. Número médio de ninfas de *Enneothrips enigmaticus* em 10 folíolos de amendoim Pré (a) e Pós-aplicação (b) em função dos tratamentos adotados. Elisiário-SP, safra 2024/25. *Médias seguidas de mesma letra nas barras não diferem entre si pelo método de Scott-Knott. (Pré-Aplicação: Teste $F=0,20^{ns}$; $CV= 20,71\%$; Pós-Aplicação: Teste $F= 4,73^{**}$; $CV= 36,83\%$). $ns=$ não significativo; $^{**}=$ significativo a 1%.

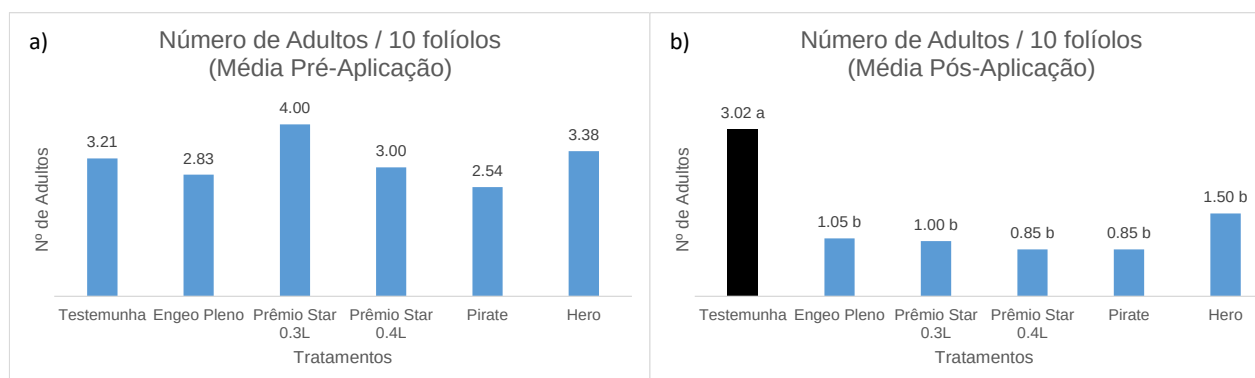


Figura 2. Número médio de adultos de *Enneothrips enigmaticus* em 10 folíolos de amendoim Pré (a) e Pós-aplicação (b) em função dos tratamentos adotados. Elisiário-SP, safra 2024/25. Médias seguidas de mesma letra nas barras não diferem entre si pelo método de Scott-Knott. (Pré-Aplicação: Teste $F=1,02^{ns}$; $CV= 15,69\%$; Pós-Aplicação: Teste $F= 5,01^{**}$; $CV= 22,37\%$). $ns=$ não significativo; $^{**}=$ significativo a 1%.

Os tratamentos com inseticidas Pirate e Prêmio Star 0,4L apresentaram as menores notas de sintomas foliares, seguidos por Engeo Pleno, Prêmio Star 0,3L e Hero que apresentaram níveis intermediários de sintomas. A testemunha, por sua vez, registrou a maior nota média de sintomas foliares causados pela infestação de tripes (Tabela 3). A produtividade de amendoim em casca obteve valores significativos para todos os tratamentos com inseticida, sendo a testemunha o único tratamento com desempenho inferior (Tabela 3).

Tabela 3. Notas de sintomas visuais de ataque de tripes na média das avaliações durante o ciclo da cultura e produtividade de amendoim em casca (kg ha^{-1}) em função dos tratamentos utilizados em aplicação foliar. Elisiário-SP, safra 2024/25.

Tratamento	Dosagem (mL ha^{-1})	Nota Média de Sintomas de Tripes	Produtividade de amendoim em casca (kg ha^{-1})
T1. Testemunha	-	4,01 a	3.644,4 b
T2. Engeo Pleno	300	2,09 b	4.971,1 a
T3. Prêmio Star 0,3L	300	2,09 b	4.794,4 a
T4. Prêmio Star 0,4L	400	1,45 c	5.140,0 a
T5. Pirate	800	1,13 c	5.287,5 a
T6. Hero	200	2,42 b	5.067,5 a
Média		2,19	4.817,5
Teste F		25,82**	6,65**
C.V. (%)		9,02	5,12

*Médias seguidas de mesma letra nas barras não diferem entre pelo método de Scott-Knott. **= significativo a 1% de probabilidade. C.V.= coeficiente de variação (%).

A análise multivariada de agrupamento hierárquico (Figura 3) mostra a formação de quatro grupos. No grupo 1, a testemunha ficou isolada, apresentando as maiores notas dentre os tratamentos. Hero e Prêmio Star 0,3 L foram classificados como grupo 2, enquanto o Engeo Pleno formou o grupo 3. Tanto o grupo 2 quanto o grupo 3 apresentaram notas intermediárias em relação ao grupo 4, que reuniu os tratamentos de melhor desempenho. Por fim, os tratamentos Pirate e Prêmio Star 0,4 L apresentaram as melhores médias sendo agrupados no grupo 4.

A escala de cores indica que, dentre os tratamentos, a testemunha foi o que apresentou as maiores notas nas avaliações de NMNPOS, NMAPOS e NMST. Já os tratamentos com os inseticidas Pirate e Prêmio Star 0,4L foram os que apresentaram as menores notas para as mesmas variáveis. Engeo Pleno, Hero e Prêmio Star 0,3L receberam notas intermediárias, com notas ligeiramente inferiores às observadas nos tratamentos com Pirate e Prêmio Star 0,4L (Figura 3).

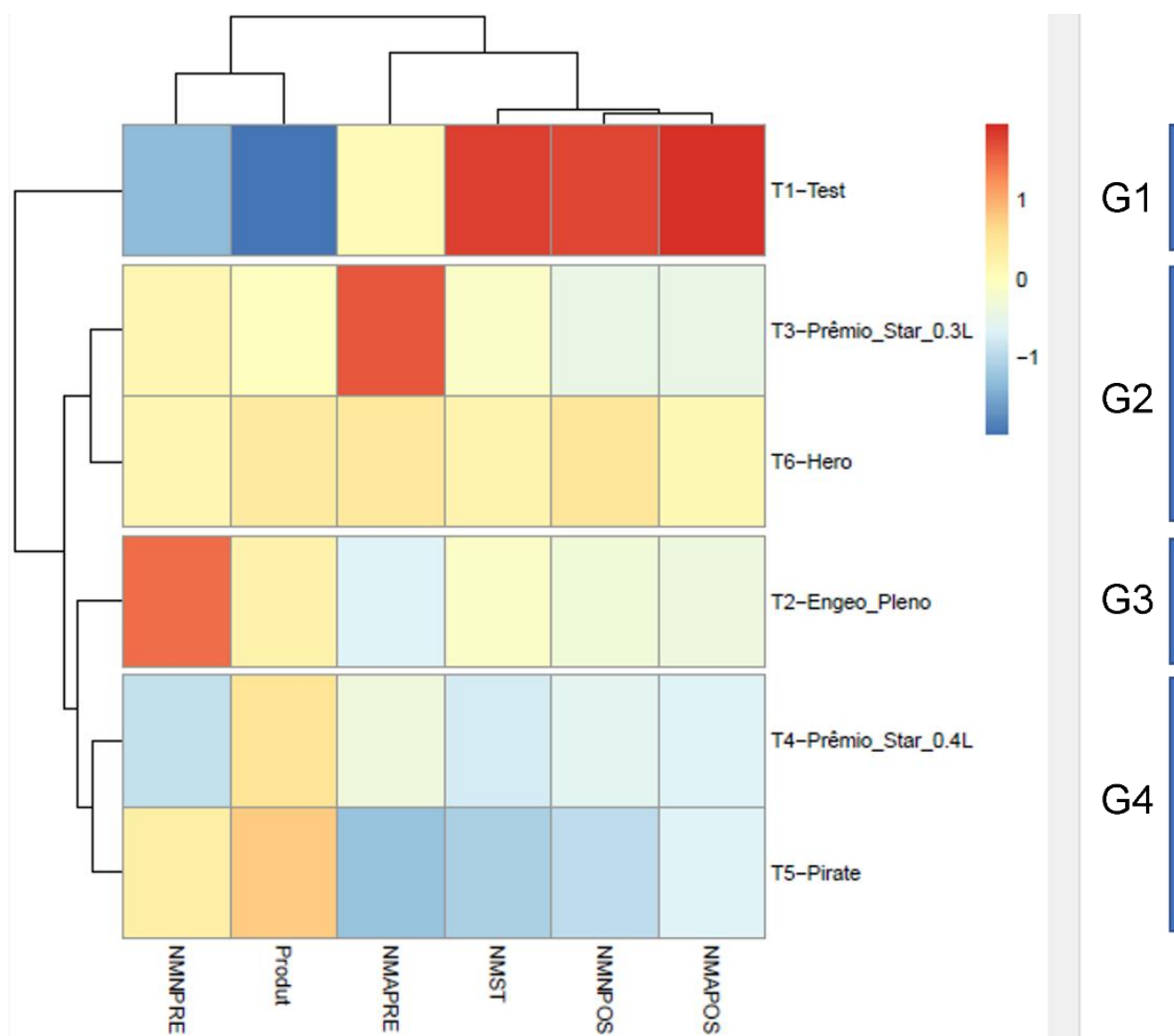


Figura 3. Heatmap obtido ao avaliar diferentes inseticidas aplicados no tratamento de sementes de amendoim e obter as variáveis: NMNPRE (número médio de ninfas pré-aplicação), NMNPOS (número médio de ninfas pós-aplicação), NMAPRE (número médio de adultos pré-aplicação), NMAPOS (número médio de adultos pós-aplicação), NMST (nota média de sintoma de tripes) e Product (produtividade em kg ha^{-1}). Na figura, a cor vermelha representa um valor padronizado (z-score) alto acima de 1, enquanto a cor azul indica um valor baixo abaixo de -1, para as variáveis. O agrupamento resultou na formação de quatro grupos distintos: G1 (Grupo 1), G2 (Grupo 2), G3 (Grupo 3) e G4 (Grupo 4). Elisiário-SP, safra 2024/25. *Agrupamento hierárquico (UPGMA) e análise multivariada de similaridade entre os tratamentos, com base nas médias das variáveis avaliadas. As distâncias foram estimadas pelo método Euclidiano e o corte do dendrograma definido em $k = 1,25$, conforme o método de Mojema (1977).

Para as variáveis NMNPRE e NMAPRE, verificou-se que o Engeo Pleno apresentou as menores notas de cores, seguido pelos inseticidas Prêmio Star 0,4L, Pirate, Hero, Prêmio Star 0,3. A testemunha apresentou os menores valores para essas variáveis (Figura 3).

A escala de cores para produtividade de amendoim em casca indicou as maiores notas para os resultados obtidos nos tratamentos com os inseticidas Pirate, Prêmio Star 0,4L, Hero, Engeo Pleno e Prêmio Star 0,3L. Já a testemunha apresentou as menores notas dentre os tratamentos (Figura 3).

DISCUSSÃO

Devido o experimento ter sido conduzido em campo, afetou significativamente a quantidade de tripes em pré-aplicação, dificultando a padronização do número de insetos por parcela durante essa avaliação. A não diferença significativa das avaliações de pré-pulverizações (Figura 1a e 2a) se dá, pela perda residual dos inseticidas entre os intervalos das aplicações, possibilitando a reinfestação dos insetos.

Já para as avaliações de pós-aplicação (Figura 1b e 2b), todos os inseticidas testados, apresentaram redução significativa no número tanto de ninfas quanto adultos, além de reduzir os sintomas visuais causados por tripes (Tabela 3) (Michelotto et al., 2019), exceto para o inseticida Hero, não apresentando resultado significativo para o controle de ninfas (Figura 1b).

A diferença significativa observada no controle de adultos pelo inseticida Hero (Figura 2b) ocorreu pelo fato de ser um produto que age em contato direto com o inseto. Os adultos realizam revoadas entre plantas, o que facilita o contato com as superfícies expostas ao produto (Ataide et al., 2024). Por outro lado, as ninfas permanecem protegidas dentro dos folíolos, reduzindo sua exposição ao inseticida e dificultando seu controle (Gabriel, 2016). Mesmo com o controle dos adultos, o fato da não redução da população de ninfas também pode ser atribuída às reinfestações de tripes decorrente da perda residual entre as aplicações. Dessa forma, apesar da eficácia contra adultos, o inseticida Hero pode apresentar limitações no manejo a longo prazo, uma vez que as ninfas não são controladas de maneira eficiente. Com isso, seu uso tende a ser mais interessante quando empregado em rotação com inseticidas sistêmicos ou integrado a outros métodos para se obter sucesso no controle das ninfas.

Todos os tratamentos contendo inseticidas proporcionaram diminuição nos sintomas foliares, destacando-se Pirate e Premio Star 0,4 L, que obtiveram os melhores níveis de controle. Já os tratamentos com Engeo, Hero e Premio 0,3 L apresentaram controle intermediário, porém ainda superior em relação à testemunha. Consequentemente, Pirate e Premio Star 0,4 L promoveram os menores danos foliares, enquanto Engeo, Hero e Premio 0,3 L apresentaram danos levemente superior.

As produtividades entre os tratamentos, no geral tiveram relação com as notas médias de sintomas de tripes, com a produtividade de amendoim em casca apresentando correlação positiva entre os tratamentos que utilizaram inseticida (Michelotto et al., 2019), diferindo apenas em relação a testemunha, que apresentou correlação negativa, obtendo maior média de sintomas visuais causados pelo tripes (Tabela 3) (Pinto et al., 2025).

A análise multivariada acentuou os resultados do experimento, com o agrupamento hierárquico (Figura 3), formando quatro grupos distintos, representando as correlações entre as variáveis avaliadas em cada tratamento. Esse tipo de análise permitiu identificar a similaridade entre os tratamentos com base no comportamento das variáveis, como NMNPRE, NMNPOS, NMAPRE, NMAPOS, NMST e ProduT, identificando quais os melhores tratamentos do experimento.

Foi observado na Figura 3, que os tratamentos pertencentes ao Grupo 4 apresentaram o melhor desempenho geral, seguidos pelo Grupo 3 e, posteriormente o Grupo 2. O Grupo 4 destacou-se por

reunir os tratamentos com os melhores resultados (Pirate e Prêmio Star 0,4L) em termos de controle populacional de insetos, menores intensidades de sintomas visuais e maiores produtividades, demonstrando desempenho superior em relação aos demais grupos. O Grupo 3 apresentou desempenho intermediário, sendo superior ao Grupo 2, que mostrou correlações menos favoráveis entre as variáveis. Já o Grupo 1, foi o que obteve o pior desempenho, com os maiores números de insetos, e consequentemente, os maiores danos visuais, refletindo diretamente em menor produtividade (Ataide et al., 2024).

A escala de cores evidencia a testemunha, que por não receber aplicação de inseticida, apresentou as maiores notas (vermelho) nas variáveis NMNPOS, NMAPOS e NMST, indicando o menor nível de controle sobre a população de tripes, e menores valores de produtividade (azul). Já os tratamentos com os inseticidas Pirate e Prêmio Star 0,4 L destacaram-se por apresentarem resultados totalmente opostos, evidenciando maiores produtividades (representadas por tons de amarelo mais intenso) e menor nível populacional e danos foliares (tons de azul). Já os tratamentos com Engeo Pleno, Hero e Prêmio Star 0,3 L apresentaram notas intermediárias, indicando eficiência moderada. De forma geral, independente do produto utilizado, o uso de inseticidas para o controle do tripes, teve resultados significativos comparado à ausência da aplicação de produtos, evidenciando que para a cultura é fundamental o controle de trips e que a ausência de controle tem um efeito direto na redução da produtividade de amendoim em casca.

CONCLUSÃO

No geral todos os inseticidas testados em pulverização foliar reduziram a infestação de tripes ao longo do ciclo de desenvolvimento da planta do amendoim. Pirate e Premio Star (400 ml ha^{-1}) foram os mais eficientes na redução de tripes, já o Hero e Premio Star (300 ml ha^{-1}) e Engeo Pleno apresentaram resultados intermediários e foram semelhantes entre si. Sugere-se que o inseticida Hero, seja utilizado apenas quando em rotação com produtos sistêmicos ou em conjunto com outros métodos capazes de controlar a incidência de ninfas.

A produtividade de amendoim em casca apresentou correlação com o ataque de tripes. Independente do inseticida utilizado para o controle do tripes, observou-se ganhos significativos em relação a ausência de controle.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ataide, L. M. S., Vargas, G., Velazquez-Hernandez, Y., Reyes-Arauz, I., Villamarin, P., Canon, M. A., Yang, X., Riley, S. S., & Revynthi, A. M. (2024). Efficacy of conventional and biorational insecticides against the invasive pest *Thrips parvispinus* (Thysanoptera: Thripidae) under containment conditions. *Insects*, 15, 48. <https://doi.org/10.3390/insects15010048>
- Bhering, L.L. Rbio: A Tool For Biometric And Statistical Analysis Using The R Platform. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v.17: 187-190p, 2017.

- Gabriel, D. (2016). Pragas do Amendoim (Doc. Téc. 26). Instituto Biológico – APTA, Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, 26, 1-25.
- Horsfall, J. G., & Barratt, R. W. (1945). Na improved grading system for measuring plant diseases. *Phytopathology*, 35, 655.
- Lima, É. F. B., Alencar, Á. R. S. d., Nanini, F., Michelotto, M. D., & Corrêa, A. S. (2022). "Unmasking the Villain": Integrative taxonomy reveals the real identity of the key pest (Thysanoptera: Thripidae) of peanuts (*Arachis hypogaea* L) in South America. *Insects*, 13, 120. <https://doi.org/10.3390/insects13020120>
- Michelotto, M. D., Carrega, W. C., Pirotta, M. Z., Godoy, I. J., Lourenção, A. L., & Martins, A. L. M. (2019). Control of thrips (*Enneothrips flavens* Moulton) with synthetic and biological insecticides in different peanut genotypes. *Australian Journal of Crop Science*, 13, 1074–1082. <https://doi.org/10.21475/ajcs.19.13.07.p1532>
- Mojema, R. (1977). Hierarquial grouping methods and stopping rules: an evaluation. *Comput. J.* 20: 359-363. <https://doi.org/10.1093/comjnl/20.4.359>
- Pinto, J. R. L., Silva, D. F., Souza, L. M., & Almeida, R. P. (2025). Optimal flight height and spectral indices for detecting insect injury in peanut crops using UAS. *International Journal of Remote Sensing*, 46, 1–15. <https://doi.org/10.1080/01431161.2025.2462197>
- Pirotta, R. D., Cabral, B. P., Braga, L. A. M., Syed-Abdul, S., & Mota, F. B. (2025). Future of artificial intelligence applications in cancer care: A global cross-sectional survey of researchers. *International Journal of Oncology and Cancer Therapy*, 12, 1–10. <https://doi.org/10.1155/iao/6173160>
- Pravalika, P. V. L., Devaki, k., Latha, p., & Manjula, k. (2023). Evaluation of efficacy of seed treatment and foliar spray on sucking insect pest incidence in groundnut. *Agricultural Science*. 9, 119-126.

Controle de tripes-do-prateamento pelo tratamento de sementes ou pulverização no sulco de semeadura do amendoim

Recebido em: 26/11/2025

Aceito em: 09/12/2025

 10.46420/9786585756709cap2

João Pedro Domingues da Silva 

Giovanna dos Santos Tinos 

Yago Custodio da Silva 

Marcos Doniseti Michelotto 

Bruno Berrocal Marson 

INTRODUÇÃO

A produção de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) no Brasil vem apresentando aumentos consideráveis tanto em área quanto em produção em relação às safras anteriores (CONAB, 2025). No entanto, esse avanço vem acompanhado por um aumento na incidência de pragas e doenças, que comprometem o desenvolvimento e a produtividade da lavoura.

Entre as principais pragas que afetam o amendoim, destacam-se os tripes-do-prateamento, *Enneothrips enigmaticus* (Thysanoptera: Thripidae). Ninfas e adultos provocam danos característicos nas plantas, realizando raspagens nas faces adaxial e abaxial das folhas, além de sugar a seiva dos vasos foliares, o que resulta em descoloração e perda da capacidade fotossintética (Lima et al., 2022). O controle químico se destaca como uma das principais ferramentas para reduzir os danos e contribuir de forma eficaz para o manejo dessas pragas (Zanetti, 2023).

Produtos químicos, como fungicidas e inseticidas, e agentes biológicos, como microrganismos benéficos, são utilizados com o objetivo de suprimir ou eliminar patógenos, diminuindo a necessidade de aplicações futuras de pesticidas e favorecendo o desenvolvimento saudável das culturas (Moumni, Brodal; Romanazzi, 2023). O tratamento de sementes com inseticidas é uma técnica que tem por objetivo atuar contra o ataque inicial de pragas específicas do solo, ou protegendo as plântulas durante o processo germinativo e de emergência. Entre os benefícios dessa técnica destacam-se a melhor emergência das plântulas, maior altura e vigor das plantas, bem como o aumento da biomassa de parte aérea e raízes, resultantes da proteção contra patógenos transmitidos por sementes e solo (Anderson; Buzzell, 1982). O tratamento de sementes pode ser utilizado reduzindo os danos foliares na parte aérea das plantas, mas pode apresentar riscos ao ambiente (Guo et al., 2024).

Já a aplicação do inseticida no sulco de semeadura garante que a calda fique próxima às raízes das plantas, quando o inseticida por alguma razão não possa ser adicionado ao tratamento da semente. Com essa abordagem benefícios foram observados em cultivos de milho no controle da lagarta-da-raiz-do-

milho ocidental e do percevejo-marrom, por meio da aplicação de inseticidas no sulco de semeadura ou diretamente nas sementes, o que resultou na redução da densidade de pragas e no aumento do rendimento de grãos (Bryant; Taylor, 2021). Sendo assim os tratamentos de sementes podem ser igualmente ou até mais eficazes para determinadas pragas (Boika; Miakhtsiyeva, Vasileuskaya, 2022). Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficácia de diferentes produtos aplicados via tratamento de sementes ou aplicação no sulco de semeadura no controle do tripses inicial em amendoim.

MATERIAL E METODOS

Os experimentos foram instalados em área experimental da Unidade da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA) de Pindorama, localizada no município de Pindorama, SP (21°13'27" S, 48°55'39" W, altitude de 560 m). e no Centro de Cana do Instituto Agrônômico (IAC), situado em Ribeirão Preto, SP (21°12'42" S, 47°52'30" W, altitude de 620 m).

Tabela 1. Descrição dos tratamentos aplicados no experimento.

Inseticida Comercial*	Empresa	Ingrediente Ativo	Dosagem	Utilização	Tipo de produto
T1. Testemunha	-	S/A	-	-	-
T2. Avicta® Completo	Syngenta	Abamectina + Tiametoxan	5,0 mL kg ⁻¹	TS	Químico
T3. Boveril Evo	Koppert	<i>Beauveria bassiana</i> Cepa PL63	0,5 Kg ha ⁻¹	PS	Biológico
T4. Convence® FS	Ihara	Acetamiprido + Fipronil	3,0 mL kg ⁻¹	TS	Químico
T5. Cropstar® ^d	Bayer	Imidacloprid + Todicarbe	1,5 ml kg ⁻¹	TS	Químico
T6. Curbix® 200SC ^d	Bayer	Etiprole	1,0 L ha ⁻¹	PS	Químico
T7. Equento® ^d	Syngenta	Plinazolim	2,0 mL kg ⁻¹	TS	Químico
T8. Fortenza® Duo ^d	Syngenta	Ciantraniliprole + Tiametoxan	2,0 mL kg ⁻¹	TS	Químico
T9. Produto ^d £	Basf	Tiametoxan + Fipronil	2,5 ml kg ⁻¹	TS	Químico
T10. Metarril	Koppert	<i>Metarhizium anisopliae</i>	0,7 Kg ha ⁻¹	PS	Biológico
T11. Poncho® ^d	Basf	Clotianidina	1,5 ml kg ⁻¹	TS	Químico
T12. Shelter® ^d	Adama	Fipronil	2,5 mL kg ⁻¹	TS	Químico
T13. Standak® Top	Basf	Fipronil	2,0 mL kg ⁻¹	TS	Químico
T14. Terranem	Koppert	<i>Steinernema carpocapsae</i>	0,1 Kg ha ⁻¹	PS	Biológico
T15. Vigga ^d	Omex	<i>Allium sativum</i>	0,4 L ha ⁻¹	PS	Biológico
T16. Talisman® ^d	FMC	Bifentrina + Carbossulfano	2,0 L ha ⁻¹	PS	Químico

*^d = Não registrado para a cultura do amendoim; £= Produto codificado; TS= tratamento de semente; PS= pulverização no sulco de semeadura; S/A = Sem aplicações.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com 4 repetições. Cada parcela foi constituída de 4 linhas de 5 metros de comprimento, e espaçamento entre linhas de 0,90 m e densidade de semeadura de 20 sementes por metro. Os tratamentos aplicados são descritos na Tabela 1.

A cultivar utilizada foi IAC OL3, tratada inicialmente com o fungicida Vitavax Thiram 200SC (carboxina + tiram) na dosagem de $2,0 \text{ mL kg}^{-1}$ de semente e os demais tratamentos inseticidas foram adicionados ao tratamento das sementes ou aplicados no sulco de semeadura durante o plantio (Tabela 1). Os tratamentos das sementes foram realizados por meio de um equipamento de tratamento industrial de acordo com Cimisa Máquinas Pozzer Ltda. (s.d.), o modelo MT-200 entregando uma produção de até 200 kg de sementes tratadas, com acionamento via motor elétrico e descarga por gravidade, garantindo a precisão das dosagens e a homogeneidade na aplicação dos produtos. A aplicação no sulco de semeadura foi feita utilizando um pulverizador costal elétrico de 20 L de capacidade, equipado com ponta de pulverização do tipo leque, operando com um volume de calda de 100 L ha^{-1} .

Para avaliação das injúrias ocasionadas pelo trips, foi utilizada uma escala modificada de Moraes (2005) de nota de sintomas visuais variando de 0 (ausência de sintomas de injúria), 1 (até 10% do folíolo com injúrias), 3 (entre 11 e 30% do folíolo com injúrias), 6 (entre 31 e 60% do folíolo com injúrias) e 9 (acima de 60% do folíolo com injúrias). Em Pindorama, essa avaliação foi realizada aos 23, 29 e 34 dias após a semeadura (DAS). Em Ribeirão Preto, realizou-se uma única avaliação aos 27 dias após a semeadura. Avaliou-se também o estande inicial (plantas m^{-1}) aos 34 e 27 DAS em Pindorama e Ribeirão Preto, respectivamente para verificar possíveis reflexos na emergência das plântulas sob influência dos tratamentos. Também foi utilizada uma variável chamada Eficácia de Redução dos Sintomas Visuais de Danos do Trips em Relação à Testemunha (ER), que consistiu em analisar os dados da testemunha e compará-los com os demais tratamentos, com o intuito de avaliar a eficácia de cada tratamento em relação à testemunha.

Foi feita uma análise de dissimilaridade e agrupamento utilizando o software Rbio versão 2.0 (Bhering, 2017). Para calcular as distâncias entre os dados, foi adotada a medida de distância Euclidiana, que quantifica a dissimilaridade entre os objetos com base nas variáveis analisadas. O agrupamento dos dados foi realizado por meio do método hierárquico UPGMA (*Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean*), que permite a construção de um dendrograma, baseada na média das distâncias entre os grupos. Além disso, foi utilizado o algoritmo de otimização Tocher, disponível no pacote biotools, para definir os agrupamentos mais adequados. O corte do dendrograma foi realizado usando com critério o descrito por Mojena (1977) de $k = 1.25$, o que permitiu a identificação dos principais clusters a partir da estrutura de dissimilaridade entre os dados. A escala de cores da matriz varia do azul, correspondendo a menores níveis de dano e maior eficiência de controle, ao vermelho, que indica maior intensidade de dano e menor eficiência, exceto nas variáveis de eficácia de redução dos sintomas visuais de danos do trips em relação à testemunha onde a coloração vermelha representa o melhor resultado e a azul um controle pior. Com os grupos formados a partir do dendrograma, as médias dos grupos foram estimadas e mostradas em forma de figuras.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O mapa de calor (Figura 1) mostra o agrupamento hierárquico de 13 tratamentos inseticidas avaliados quanto à intensidade de dano visual causado por tripes em duas localidades experimentais, a saber, Pindorama e Ribeirão Preto, em diferentes épocas de avaliação (23, 29 e 34 DAS e aos 27 DAS, respectivamente), além da soma total e da eficiência relativa (ER%) de cada produto. Os resultados da ANOVA (dados não apresentados) demonstram que existem diferenças significativas entre os tratamentos aplicados em ambos os locais.

As informações de médias dos diferentes tratamentos aplicados em ambos os locais e as variáveis medidas foram empregadas na realização de um dendrograma que permitiu agrupar os tratamentos conforme a similaridade de comportamento em todas as variáveis avaliadas. A coloração da matriz (Figura 1), varia de tons azuis, que indicam menor intensidade de dano e maior eficiência de controle, até tons vermelhos, que representam maior dano visual e menor eficiência.

A partir do agrupamento obtido pelas variáveis mensuradas, observa-se que a formação de dois grupos. Um primeiro grupo (I) formado por cinco variáveis Notas Visuais de Sintomas de Ataque de Tripes em Pindorama divididas em 23, 29 e 34 DAS e as somas desses danos em Ribeirão Preto 27 DAS. Um segundo grupo (II) formado por duas variáveis Eficácia de redução dos sintomas visuais de danos do tripes em relação à testemunha (ER) para ambos os locais (ER Pindorama e ER Ribeirão Preto), agrupamento que está em função da importância e da similaridade que elas têm ao considerar os tratamentos aplicados, fatores que determinam o agrupamento dos tratamentos empregados.

Ao considerar o agrupamento dos tratamentos aplicados observa-se a formação de quatro grupos. Um primeiro grupo (G1) formado por três tratamentos aplicados no sulco de plantio T3-Boveril; T6-Curbix e T16-Talisman e um aplicado no TS (T7-Equento) que representam o 25% dos tratamentos aplicados (Figura 1), ao mesmo tempo este grupo é formado por produtos dos quais três deles são de origem química e um de origem biológico (T6 Boveril a base de *Beauveria bassiana*) (Tabela 1).

Um segundo grupo (G2) formado por sete tratamentos, e deles três aplicados no sulco de plantio (T10 Metarril; T14 Terranem; T15 Vigga) três aplicados no TS (T13 Standak; T4 Convence; T11 Shelter) e o controle sem aplicação que representam o 44% dos tratamentos aplicados (Figura 1), ao mesmo tempo este grupo é formado por produtos onde três deles de origem química (T4 Convence; T12 Shelter; T13 Standak) e três de origem biológico (T10 Metarril; T14 Terranem; T15 Vigga) (Tabela 1).

Um terceiro grupo (G3) é formado por dois tratamentos (T11 Poncho e T2 Avicta) que representam 12.5% dos tratamentos aplicados (Figura 1), e ambos os dois aplicados no TS e de origem química (Tabela 1). Um quarto grupo (G4) formado por apenas três tratamentos (T5 Cropstar; T8 Fortenza; T9 Produto Codificado) que representam 18.8 % dos tratamentos aplicados (Figura 1), todos eles aplicados no TS, assim como, todos eles são moléculas químicas (Tabela 1).

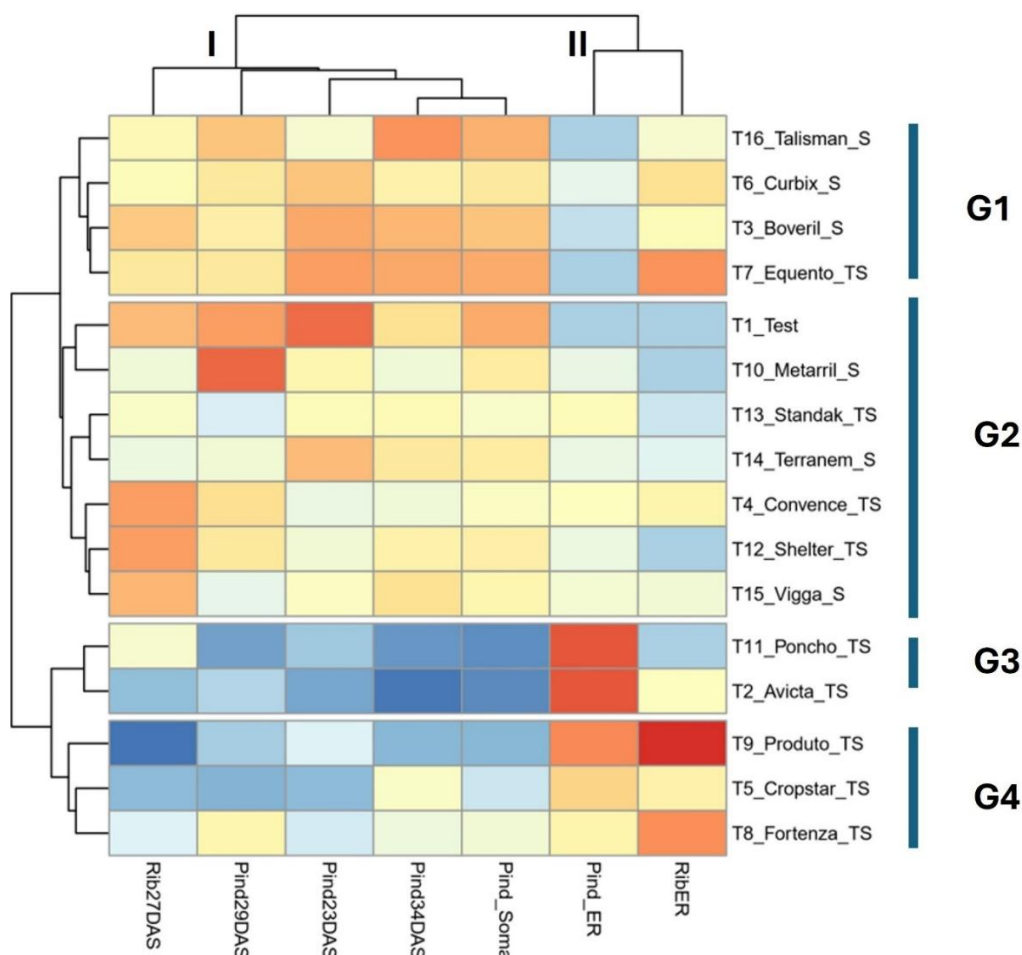


Figura 1. Mapa de calor com agrupamento hierárquico (cluster) dos tratamentos inseticidas quanto à intensidade de dano visual causado por tripes em Pindorama e Ribeirão Preto. As colorações indicam a magnitude dos valores padronizados (z-score), variando de azul (menor dano/maior eficiência) a vermelho (maior dano/ menor eficiência). Nas siglas descritas dos tratamentos a primeira parte representa a identificação dos tratamentos, numa segunda parte o nome do produto comercial e numa terceira parte o tipo de tratamento empregado (S: na semeadura e TS: no tratamento de sementes).

O grupo de maior eficiência observado na Figura 1 é o G4 que compreende os tratamentos T9_Produto_TS, T5_Cropstar_TS e T8_Fortenza_TS, que apresentaram as maiores eficiências de controle. Esses tratamentos, todos foram realizados via TS, destacaram-se por exibirem coloração azulada, associada a menores valores relacionados aos danos visuais em Pindorama (SP) e Ribeirão Preto (SP), além de apresentarem maiores valores associados com a eficiência de controle (ER%). Esses tratamentos mostraram-se consistentes independentemente do local e períodos de avaliação, configurando o melhor desempenho geral entre os produtos testados (Figura 1).

Whalen et al. (2015), em seu estudo diz que foi possível observar que a aplicação de imidacloprido no sulco de semeadura (T5), seguida por acefato duas semanas após o plantio, reduziu a injúria causada por tripes, resultado constatado no nosso experimento com T5_Cropstar_TS (Figura 1). Os neonicotinoides como os tratamentos T9; T8; e T2 por apresentar na composição o ingrediente ativo Tiametoxan e os tratamentos T5 e T11 por apresenta Imidacloprid e Clotianida são classificados como neonicotinoides esses tratamentos obtiveram um destaque nesse trabalho por proporcionarem melhor

redução nas notas visuais de dano. Esses compostos estão entre os inseticidas mais utilizados na agricultura para o tratamento de sementes, sendo considerados seguros para os seres humanos em baixas concentrações. Dewar (2017) relatou que, após a proibição do uso de neonicotinóides no tratamento de sementes de *Brassica napus*, houve perda de produtividade. De forma semelhante, Vojvodić e Bažok (2021) também observaram resultados positivos com o uso de inseticidas do grupo das diamidas antranílicas (como ciantraniliprole e clorantianiliprole) no tratamento de sementes de milho, soja, arroz e beterraba, com eficiência no controle de pragas dos órgãos aéreos. No entanto é importante se atentar com as aplicações dos neonicotinóides e organofosforados pois reduzem a abundância e diversidade de predadores e parasitoides, prejudicando o controle biológico de pragas onde o uso repetido pode gerar desequilíbrio, levando a surtos secundários devido à eliminação de inimigos naturais (Mamy et al, 2023). Segundo (Chen, 2021) Neonicotinóides são altamente tóxicos para abelhas e outros polinizadores, causando mortalidade, alterações comportamentais, imunossupressão e redução da reprodução, mesmo em doses subletais, Organofosforados também inibem enzimas essenciais em abelhas, levando a alterações comportamentais e fisiológicas graves.

No grupo intermediário (G2) estão os tratamentos T12_Shelter_TS, T15_Vigga_S, T13_Standak_TS, T14_Terranem_S e T1_Test (controle). Esses tratamentos mostram níveis intermediários de controle, agrupando-se por desempenho sem diferença expressiva em relação ao controle, o que sugere eficiência limitada ou variável conforme as condições locais. Conforme demonstrado por Yu et al. (2023), a eficácia dos inseticidas sistêmicos apresenta variação significativa ao longo do tempo, com atividade residual limitada a aproximadamente 15 dias após a aplicação, o que explica a redução gradual do efeito inseticida e a ausência de resultados expressivos em alguns tratamentos. Além disso, alguns desses produtos não possuem registro específico para o controle de tripses-do-prateamento em amendoim, fator que pode ter influenciado os resultados e que mostra a importância do presente trabalho.

Por fim, o grupo de menor eficiência (G1), formado por T16_Talisman_S, T6_Curbix_S, T3_Boveril_S e T7_Equento_TS, exibiu predominância de tons alaranjados a vermelhos, correspondendo a maior intensidade de dano visual e baixa eficiência de controle (Figura 1). Esses tratamentos apresentaram eficácia insatisfatória no manejo do tripses-do-prateamento nas condições avaliadas em ambos os locais avaliados. Embora o experimento não tenha apresentado resultados positivos para a aplicação em sulco (G1 e G2), estudos anteriores indicam que essa técnica geralmente reduz a injúria causada por tripses (Hurt et al., 2005; Mahoney et al., 2018). Além disso, o uso de produtos biológicos, como espécies de *Trichoderma*, bactérias do ácido láctico (BAL), *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens* e *Streptomyces cellulosae*, demonstraram forte supressão de doenças, melhor germinação e aumento do vigor das plantas (Cardarelli et al., 2022). Em outro estudo, Flint et al. (2014) também verificaram que a aplicação em sulco proporcionou maior produtividade e menor injúria por tripses, reforçando o potencial

dessa prática no manejo da praga. Cabe destacar que, após a aplicação dos produtos, foi registrada alta incidência de chuvas em ambas as áreas experimentais, o que pode ter influenciado os resultados.

De modo geral, os resultados evidenciam diferenças claras no desempenho dos inseticidas, permitindo identificar tratamentos mais promissores para o manejo eficiente de tripses em amendoim. O agrupamento a partir de técnicas multivariadas permite uma melhor interpretação visual e reforça a importância destas análises na melhor compreensão do comportamento conjunto dos produtos em diferentes ambientes e épocas de avaliação.

Para melhor avaliar as diferenças entre os grupos formados, foram obtidas as médias dos valores para todas as variáveis, e os dados de média e desvio-padrão são mostrados na Figura 2. Na Figura 2A, observam-se as avaliações de dano nas folhas de amendoim causados pelo tripses aos 23 DAS em Pindorama, em que uma menor média nos grupos G4 e G3 indica melhor desempenho em relação aos demais, especialmente quando comparados ao G1. Nesse caso, os produtos aplicados nos grupos G4 e G3 apresentaram destaque perante os demais tratamentos. Nas Figuras 2B e 2C, os resultados das avaliações de dano nas folhas de amendoim aos 29 e 34 DAS em Pindorama, respectivamente, são mostrados e evidenciam que neste local não houve variação no comportamento dos grupos em relação aos danos do tripses com melhor desempenho nos grupos G3 e G4 evidenciando o destaque na eficácia desses tratamentos. A Figura 2D apresenta a soma dos danos registrados ao longo das avaliações em Pindorama, onde os grupos G4 e G3 apresentaram as menores médias de danos acumulados, demonstrando maior capacidade de mitigação de fatores prejudiciais e melhor desempenho geral. Esses resultados sugerem que G3 e G4 mantiveram condições mais favoráveis de crescimento ou resposta ao tratamento aplicado em Pindorama.

Nas Figuras 2E (Pind_ER) e 2F (RibER), retratam os danos do tripses em relação à testemunha para os sintomas avaliados em Pindorama e Ribeirão Preto. Na Figura 2E (Pind_ER) o grupo G3 apresenta a maior média, sendo o grupo menos afetado, enquanto o G4, apesar de não apresentar o maior valor absoluto, demonstra desempenho intermediário com eficácia parcial na redução dos sintomas. Nesses gráficos, uma maior média indica melhor desempenho em relação à testemunha, evidenciando que o produto se destacou no controle do tripses. Na Figura 2G, são mostradas as avaliações de dano nas folhas de amendoim causados pelo tripses-do-prateamento em Ribeirão Preto. Os resultados foram similares aos de Pindorama (Figura 2B), mostrando que os grupos G3 e G4 apresentaram desempenho superior em relação aos demais grupos.

De forma geral, os grupos G3 e G4 destacaram-se em todas as variáveis avaliadas, apresentando, de forma consistente, as menores médias nos diferentes parâmetros e períodos de análise, ao mesmo tempo com valores superiores para ER (Figuras 2E e 2F). Esse comportamento indica maior eficiência e estabilidade, sugerindo que o tratamento ou condição aplicada a esses grupos proporcionou melhor controle de danos, redução de sintomas e desempenho superior ao longo do tempo. Os grupos G1 e G2,

em contrapartida, apresentaram médias mais elevadas, sugerindo menor eficácia e maior suscetibilidade a efeitos negativos.

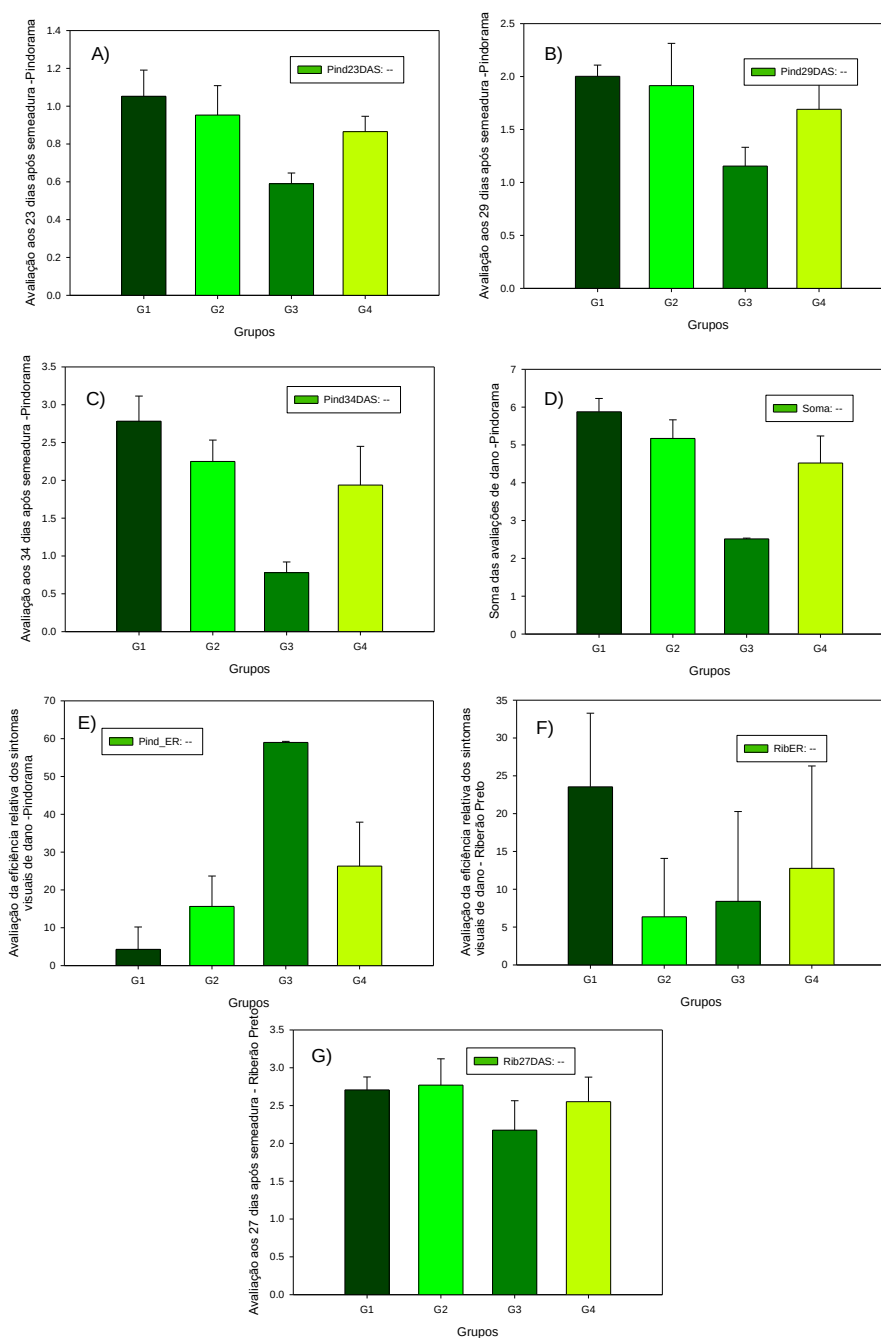


Figura 2. Grupos G1, G2, G3 e G4 cluster dos tratamentos inseticidas quanto à intensidade de dano visual causado por tripses em Pindorama e Ribeirão Preto.

No geral, os grupos G3 e G4 apresentaram um destaque em todas as variáveis medidas, demonstrando consistentemente as menores médias em vários parâmetros e períodos de análise, enquanto também exibiam valores de ER mais altos. Esse comportamento indica maior eficiência e estabilidade, sugerindo que os tratamentos desses grupos alcançaram o melhor equilíbrio entre controle de danos, mitigação de sintomas e aumento do desempenho ao longo do tempo. Em contraste, os grupos G1 e G2 mostraram médias mais altas, implicando que a baixa eficácia e a maior suscetibilidade desses

grupos aos efeitos negativos causados pelos trips. Além disso, segundo Pereira, M. (2021) as aplicações intensivas e repetidas de inseticidas são um fator de seleção importante que aumenta a sobrevivência e reprodução de indivíduos menos suscetíveis e eleva o risco de desenvolvimento de resistência nas populações. Assim, o trabalho deve destacar a necessidade de rotacionar os modos de ação, conforme as diretrizes internacionais de manejo de resistência, como uma estratégia central para mitigar esse risco. A mistura apropriada de grupos químicos reduz a pressão de seleção contínua sobre o mesmo alvo molecular e ajuda a manter a eficácia dos inseticidas (Li, Schuler & Berenbaum, 2024).

A questão do tempo de proteção oferecido pelos tratamentos aplicados é outro ponto importante a se considerar. Esse trabalho mostrou que o tratamento de sementes com os produtos Avicta Completo, Produto codificado, Cropstar e Fortenza atuam de forma positiva nos estágios iniciais das plantas, no entanto no decorrer do desenvolvimento. Segundo a Food and Agriculture Organization (FAO) a necessidade de controle da praga deve ser avaliada de forma sistemática, assim como, se necessário, a realização de pulverizações complementares deve ser realizada para garantir a devida proteção no período considerado crítico.

CONCLUSÃO

A análise multivariada feita a partir do agrupamento hierárquico destaca-se como ferramenta útil para identificar tratamentos promissores, melhorando a escolha do produto e a forma de aplicação como fatores decisivos para o manejo integrado e sustentável do trips em diferentes condições de cultivo.

Os tratamentos com Avicta Completo, Produto codificado, Cropstar e Fortenza apresentaram o melhor controle da praga, menor injúria visual e maior consistência nas localidades de Pindorama (SP) e Ribeirão Preto (SP). Tratamentos intermediários mostraram eficiência limitada, possivelmente influenciada por condições ambientais e menor persistência residual, enquanto o grupo de menor eficiência apresentou altos níveis de dano.

REFERENCIAS

- Anderson, T. R., & Buzzell, R. I. (1982). Efficacy of metalaxyl in controlling root and stem rot caused by *Phytophthora* in soybean cultivars with different field tolerance. *Plant Disease*, 66, 1144–1145. <https://doi.org/10.1094/PD-66-1144>
- Bhering, L. L. (2017). Rbio: A tool for biometric and statistical analysis using the R platform. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 17(2), 187–190. <https://doi.org/10.1590/1984-70332017v17n2t29>
- Boika, S., Miakhtsiyeva, Y., & Vasileuskaya, L. (2022). The role of neonicotinoid preparations in protecting seedlings of spiked cereals from click beetle larvae and frit fly in Belarus. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, Agrarian Series*, 60(2), 195–212. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2022-60-2-195-212>

- Bryant, T., & Taylor, S. (2021). Efficacy of selected insecticide seed treatments and in-furrow applications for the management of the brown stink bug, *Euschistus servus* (Say) (Hemiptera: Pentatomidae), in corn seedlings. *Crop Protection*, 143, 105535. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105535>
- Cardarelli, M., Woo, S. L., Roupael, Y., & Colla, G. (2022). Seed treatments with microorganisms can have a biostimulant effect by influencing germination and seedling growth of crops. *Plants*, 11(3), 259. <https://doi.org/10.3390/plants11030259>
- Chen, J., Webb, J., Shariati, K., Guo, S., Montclare, J., McArt, S., & Xue, M. (2021). Pollen-inspired enzymatic microparticles to reduce organophosphate toxicity in managed pollinators. *Nature Food*, 2, 339–347. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00282-0>
- Cimisa Máquinas Pozzer Ltda. (s.d.). MT 200 [Página de produto]. Recuperada em 3 de novembro de 2025, de <https://cimisa.com.br/produto/mt-200/>
- Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). (2025). Acompanhamento de safra brasileira – grãos: Décimo levantamento, safra 2024/2025. Brasília: CONAB. Disponível em <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/10o-levantamento-safra-2024-25/10o-levantamento-safra-2024-25>
- Dewar, M. A. (2017). The adverse impact of the neonicotinoid seed treatment ban on crop protection in oilseed rape in the United Kingdom. *Pest Management Science*, 73, 1305–1309. <https://doi.org/10.1002/ps.4462>
- Flint, M. L., Herbert, D. A., Jordan, D. L., & Brandenburg, R. L. (2014). Evaluation of selected in-furrow at-planting granular and liquid insecticides for control of thrips in peanut. *American Journal of Alternative Agriculture*, 40(1), F48–F54. <https://doi.org/10.2134/agronj2014.06.0348>
- FAO. (s.d.). Integrated pest management of major diseases and pests. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Guo, Y., Zhang, Y., Dong, F., Wu, X., Pan, X., Zheng, Y., & Xu, J. (2024). Thiamethoxam pesticide in seed treatment: Uptake, metabolic transformation and associated synergistic effects against wheat aphids. *Science of the Total Environment*, 174955. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174955>
- Hurt, C. A., Brandenburg, R. L., Jordan, D. L., Kennedy, G. G., & Bailey, J. E. (2005). Management of spotted wilt vectored by *Frankliniella fusca* (Thysanoptera: Thripidae) in Virginia market-type peanut. *Journal of Economic Entomology*, 98(5), 1435–1440. <https://doi.org/10.1093/jee/98.5.1435>
- Li, X., Schuler, M. A., & Berenbaum, M. R. (2024). Mechanisms and genetic drivers of resistance of insect pests to insecticides and approaches to its control. *Toxics*, 13(8), 681. <https://doi.org/10.3390/toxics13080681>

- Lima, É. F. B., Alencar, Á. R. S. D., Nanini, F., Michelotto, M. D., & Corrêa, A. S. (2022). “Unmasking the villain”: Integrative taxonomy reveals the real identity of the key pest (Thysanoptera: Thripidae) of peanuts (*Arachis hypogaea* L.) in South America. *Insects*, 13(2), 120. <https://doi.org/10.3390/insects13020120>
- Mahoney, D. J., Jordan, D. L., Brandenburg, R. L., Royals, B. R., Inman, M. D., Hare, A. T., & Shew, B. B. (2018). Influence of planting date and insecticide on injury caused by tobacco thrips and peanut yield in North Carolina. *Peanut Science*. <https://doi.org/10.3146/0095-3679-45.2.70>
- Mojena, R. (1977). Hierarchical grouping methods and stopping rules: An evaluation. *The Computer Journal*, 20(4), 359–363. <https://doi.org/10.1093/comjnl/20.4.359>
- Mamy, L., Pesce, S., Sanchez, W., Aviron, S., Bedos, C., Berny, P., Bertrand, C., Betoulle, S., Charles, S., Chaumot, A., Coeurdassier, M., Coutellec, M., Crouzet, O., Faburé, J., Fritsch, C., Gonzalez, P., Hedde, M., Leboulanger, C., Margoum, C., Mougin, C., Munaron, D., Nélieu, S., Pelosi, C., Rault, M., Sucré, E., Thomas, M., Tournebize, J., & Leenhardt, S. (2023). Impacts of neonicotinoids on biodiversity: A critical review. *Environmental Science and Pollution Research*, 1–36. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-31032-3>
- Moraes, A. R. A. (2005). Efeito da infestação de *Enneothrips flavens* Moulton no desenvolvimento e produtividade de seis cultivares de amendoim, em condição de campo (Dissertação de Mestrado). Instituto Agronômico de Campinas (IAC), Campinas, SP.
- Moumni, M., Brodal, G., & Romanazzi, G. (2023). Recent innovative seed treatment methods in the management of seedborne pathogens. *Food Security*, 15(5), 1365–1382. <https://doi.org/10.1007/s12571-023-01384-2>
- Pereira, M. (2021). Entendendo alguns mecanismos de resistência a inseticidas tendo como exemplo o pulgão-verde *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae). *Brazilian Journal of Development*, 7(1), 6813–6839. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n1-461>
- Vojvodić, M., & Bažok, R. (2021). Future of insecticide seed treatment. *Sustainability*, 13(16), 8792. <https://doi.org/10.3390/su13168792>
- Whalen, R., Herbert, D. A. Jr., & Malone, S. (2015). Evaluation of rates and combinations of liquid in-furrow and foliar insecticides for control of thrips in peanut. *Arthropod Management Tests*, 40, F49. <https://doi.org/10.1093/amt/tsv049>
- Yu, X.-R., Tariq, T., Guo, L.-H., Wu, S.-Y., Tang, L.-D., & Zang, L.-S. (2023). Assessing the effectiveness of imidacloprid and thiamethoxam via root irrigation against *Megalurothrips usitatus* (Thysanoptera: Thripidae) and its residual effects on cowpea. *Journal of Economic Entomology*, 116(5), 1767–1775. <https://doi.org/10.1093/jee/toad166>
- Zanetti, R. B. (2023). Resposta à aplicação de inseticidas e nutrição foliar no manejo da cultura do milho e suas implicações na produtividade.

Desempenho fisiológico e produtivo de cultivares de alface sob aplicação de nicotinamida, piridoxina e *Azospirillum brasilense*

Recebido em: 26/11/2025

Aceito em: 09/12/2025

 10.46420/9786585756709cap3Vanessa Ribeiro Tassila Aparecida do Nascimento de Araújo Eduardo Pradi Vendruscolo 

INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma das hortaliças folhosas mais cultivadas no Brasil e no mundo, com um total de 83,9 mil toneladas de volume comercializado nos principais atacadistas do país (Embrapa, 2023) e uma produção brasileira estimada em 4,26 milhões toneladas para 2025 (CONAB, 2025). A cultura se destaca por seu ciclo de cultivo curto, elevado valor nutricional e relevância para a agricultura e o setor hortícola (Siquieroli et al., 2025). No entanto, o cultivo intensivo enfrenta desafios relacionados a fatores ambientais e nutricionais. Assim, a adoção de práticas sustentáveis e tecnologias que aprimoram o vigor e a eficiência nutricional é fundamental para garantir mudas e cultivos rentáveis (Santander et al., 2024).

Nesse contexto, o uso de bioestimulantes se destaca como uma alternativa promissora na agricultura, por atuar modulando processos fisiológicos essenciais, como germinação, absorção de nutrientes, desenvolvimento radicular e tolerância ao estresse (Franzoni et al., 2022; Shahrajabian et al., 2021). Esses compostos podem incluir substâncias orgânicas, reguladores de crescimento e microrganismos promotores de crescimento de plantas, contribuindo para maior produtividade e sustentabilidade agrícola (Meena, Birthal, & Kumara, 2025).

Dentre os compostos bioativos utilizados como bioestimulantes, destacam-se as vitaminas nicotinamida (vitamina B3) e piridoxina (vitamina B6), que desempenham papéis cruciais como cofatores enzimáticos em reações metabólicas essenciais, incluindo respiração, fotossíntese, síntese de aminoácidos e regulação hormonal em plantas (Araújo et al., 2024a; Fitzpatrick, 2024; Vendruscolo et al., 2025). A aplicação exógena dessas vitaminas tem demonstrado potencial para melhorar o crescimento radicular, o acúmulo de biomassa e a tolerância das plantas a condições de estresse, configurando-se como ferramentas promissoras no manejo fisiológico de hortaliças (Garcia et al., 2023; Vendruscolo et al., 2023).

Além disso, a combinação dessas vitaminas com microrganismos promotores de crescimento, como *Azospirillum brasilense*, pode potencializar os efeitos benéficos no desenvolvimento vegetal (Ribeiro

et al., 2024; Sun et al., 2025). Este gênero bacteriano é notável por sua capacidade de fixar nitrogênio atmosférico, sintetizar fitormônios, como auxinas e giberelinas, e estimular o crescimento radicular, promovendo uma melhor absorção de água e nutrientes (Giri et al., 2025). A interação sinérgica entre vitaminas e microrganismos rizosféricos representa uma abordagem inovadora e sustentável para aumentar a eficiência fisiológica das plantas (Melo et al., 2025). Entretanto, é importante realizar mais estudos que avaliam a interação entre vitaminas do complexo B e microrganismos promotores de crescimento em hortaliças folhosas.

Assim, parte-se da hipótese de que a aplicação combinada de nicotinamida, piridoxina e *Azospirillum brasilense* pode favorecer o crescimento e o desempenho fisiológico de cultivares de alface. O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos dessas combinações sobre variáveis fisiológicas e produtivas de alface cultivada em ambiente protegido.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em ambiente protegido nas instalações da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Unidade Universitária de Cassilândia-MS (19°06'22" S; 51°43'21" O; alt. 516 m), no período de maio a julho de 2023, em região de clima tropical úmido (classificação de Köppen Aw) (Instituto Nacional de Meteorologia, 2020)

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2×6, sendo o primeiro fator constituído por duas cultivares (Pira Roxa e Stella) e o segundo por seis tratamentos bioestimulantes, com quatro repetições cada, perfazendo 24 unidades experimentais. Cada repetição foi constituída por uma planta. Os tratamentos consistiram em combinações de bioestimulantes e microrganismos promotores de crescimento, conforme descrito: T1 foi o controle, sem aplicação de bioestimulantes; T2 recebeu 10 mL L⁻¹ de *A. brasilense*; T3 foi tratado com 300 mg L⁻¹ de Nicotinamida (vitamina B3); T4 recebeu a combinação de 10 mL L⁻¹ de *A. brasilense* com 300 mg L⁻¹ de Nicotinamida; T5 recebeu 300 mg L⁻¹ de Piridoxina (vitamina B6); e T6 foi tratado com 10 mL L⁻¹ de *A. brasilense* combinado com 300 mg L⁻¹ de Piridoxina. O *A. brasilense* utilizado foi composto pelas estirpes Ab-V5 e Ab-V6, com garantia de 2×10^8 unidades formadoras de colônia (UFC) mL⁻¹ (AzoTotal®). As fontes de nicotinamida e piridoxina apresentavam 100% de pureza do princípio ativo (p.a.), sendo provenientes de laboratório especializado (Acs Científica®).

Foram utilizadas mudas de alface, adquiridas comercialmente em bandejas com 200 células e transplantadas para vasos plásticos com volume de 5 L assim que apresentavam aproximadamente três folhas verdadeiras. O substrato utilizado consistiu no composto comercial “Carolina Soil”, à base de turfa, casca de pinus e vermiculita expandida, escolhido por sua adequada estrutura para o desenvolvimento inicial de hortaliças (Carolina soil, 2025).

Os tratamentos foram realizados numa única aplicação via foliar, no dia subsequente ao transplântio, utilizando pulverizador manual de 500 ml, umedecendo até o ponto de molhamento

uniforme das folhas. A adubação de cobertura foi realizada aos 21 dias após o transplântio, com aplicação de 45 kg há⁻¹ de nitrogênio (N) e 45 kg ha⁻¹ de potássio (K), conforme as recomendações técnicas para a cultura da alface (Hong et al., 2022).

As avaliações fisiológicas foram realizadas aos 38 dias após a aplicação dos tratamentos, utilizando um medidor portátil de fotossíntese (IRGA) para determinação das variáveis de trocas gasosas, incluindo concentração interna de CO₂ (Ci), taxa de transpiração (E), condutância estomática (gs), taxa fotossintética líquida (A), eficiência instantânea no uso da água (W) e eficiência instantânea de carboxilação (EICI). Essas variáveis foram selecionadas por representarem de maneira integrada o desempenho fisiológico das plantas, permitindo inferir os efeitos dos bioestimulantes na assimilação de carbono, na regulação estomática e na eficiência metabólica. Embora o *Azospirillum brasilense* seja amplamente reconhecido por estimular o crescimento das raízes e a absorção de água e nutrientes, não foram realizadas avaliações diretas das raízes. No entanto, as respostas das trocas gasosas oferecem evidências indiretas sobre o funcionamento do sistema radicular, pois refletem a capacidade da planta de atender à demanda hídrica e nutricional da parte aérea. A colheita foi realizada aos 40 dias após o transplântio, ocasião em que foi mensurada a variável produtiva massa fresca da parte aérea das plantas (MFPA).

As análises estatísticas foram realizadas por meio de análise de variância (ANOVA) para todas as variáveis fisiológicas e produtivas avaliadas, com posterior comparação de médias pelo teste de Scott–Knott ($p \leq 0,05$). Adicionalmente, procedeu-se à análise multivariada por meio da Análise de Componentes Principais (PCA), utilizada para identificar padrões de agrupamento e a contribuição das variáveis fisiológicas para a distinção entre os tratamentos e cultivares. Todas as análises foram conduzidas no software Rbio (v. 2.2.4) (Bhering, 2017).

RESULTADOS

A análise de variância (Tabela 1), revelou ausência de interação significativa entre cultivares e tratamentos para as variáveis fisiológicas e produtivas avaliadas, com exceção da eficiência instantânea de carboxilação (EICI). Para o fator tratamentos, não foram observados efeitos significativos sobre Ci, E, gs, W e MFPA, demonstrando que a aplicação isolada ou combinada de nicotinamida, piridoxina e *A. brasilense* não alterou o desempenho fisiológico da cultura nas condições experimentais. Em relação ao fator cultivar, não foram detectadas diferenças significativas nas variáveis E e gs. Isso sugere que ambas as cultivares apresentam respostas fisiológicas semelhantes em termos de transpiração e condutância estomática.

Tabela 1. Resumo da análise de variância (ANOVA) das variáveis fisiológicas e produtivas de alface das cultivares ‘Stella’ e ‘Pira Roxa’ submetidas a tratamentos com nicotinamida, piridoxina e *A. brasilense*.

FV*	Gl	P-value						
		Ci (μmol)	E (mmol)	gs (mol)	A (μmol)	W (mmol)	EICI ($\mu\text{mol}/\text{mmol}$)	MFPA (g)
Tratamentos (T)	5	0.144ns	0.246ns	0.353ns	0.000**	0.601ns	0.000**	0.636ns
Cultivar (C)	1	0.011*	0.608ns	0.327ns	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**
T x C	5	0.072ns	0.446ns	0.081ns	0.275ns	0.904ns	0.029*	0.149ns
CV (%)		11.34	21.55	22.07	13.04	26.07	22.34	14.42

*FV: fonte de variação, Gl: graus de liberdade, CV: coeficiente de variação, Ci: concentração interna de CO_2 , E: taxa de transpiração, gs: condutância estomática, A: taxa de fotossíntese líquida, W: eficiência instantânea no uso da água, MFPA: massa fresca da parte aérea. ** significativo a 1%, * significativo a 5%, ns = não significativo.

A análise das variáveis fisiológicas e produtivas (Tabela 2) mostrou que não houve diferença significativa entre os tratamentos para Ci, E, gs, W e MFPA. A taxa fotossintética líquida apresentou diferenças entre os tratamentos, os maiores valores foram obtidos nos tratamentos T2 (*A. brasilense*), T3 (Nicotinamida) e T5 (Piridoxina), embora sem diferença estatística entre si.

Tabela 2. Comparação das médias das variáveis fisiológicas e produtivas de alface cv. Pira Roxa e Stella submetidas aos tratamentos com nicotinamida, piridoxina e *A. brasilense*.

Tratamento	*Ci (μmol)	E (mmol)	gs (mol)	A (μmol)	W (mmol)	MFPA (g)
T1	375.33 ns	2.24 ns	0.188 ns	5.48 b	2.65 ns	74.98 ns
T2	361.33 ns	2.51 ns	0.191 ns	6.97 a	2.92 ns	73.48 ns
T3	388.33 ns	2.45 ns	0.165 ns	6.49 a	2.65 ns	72.48 ns
T4	362.83 ns	2.51 ns	0.158 ns	5.78 b	2.30 ns	75.45 ns
T5	260.17 ns	2.93 ns	0.197 ns	7.35 a	2.65 ns	77.76 ns
T6	411.00 ns	2.65 ns	0.175 ns	6.21 b	2.48 ns	68.61 ns
Cultivares						
Stella	360.00 b	2,59 ns	0.183 ns	8.06 a	3.26 a	82.32 a
Pira Roxa	393.00 a	2.51 ns	0.172 ns	4.70 b	1.96 b	65.27 b

*ci: concentração interna de CO_2 , E: taxa de transpiração, gs: condutância estomática, A: taxa de fotossíntese líquida, W: eficiência instantânea no uso da água, MFPA: massa fresca da parte aérea. T1: controle, T2: Azospirillum, T3: nicotinamida, T4: nicotinamida + Azospirillum, T5: piridoxina, T6: Azospirillum + piridoxina. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). ns = não significativo.

Em relação ao fator cultivares, houve diferenças significativas para Ci, A, W e MFPA, evidenciando diferenças fisiológicas entre ‘Stella’ e ‘Pira Roxa’. A cultivar ‘Stella’ apresentou desempenho superior, com A (71,5%), W (66,3%) e MFPA (26,1%) em relação a ‘Pira Roxa’, indicando maior eficiência na assimilação de carbono e maior potencial produtivo. Em contrapartida, ‘Pira Roxa’ apresentou concentração intercelular de CO_2 (Ci) 9,2% superior à de ‘Stella’, o que sugere maior acúmulo de CO_2 e menor eficiência carboxilativa, coerente com sua menor taxa fotossintética. Esses resultados

destacam que as diferenças genótípicas exerceram maior influência sobre o desempenho fisiológico do que os tratamentos bioestimulantes aplicados (Tabela 2).

A eficiência instantânea de carboxilação (EICI) apresentou interação significativa entre cultivares e tratamentos (Figura 1), evidenciando que a resposta fisiológica depende simultaneamente do genótipo e do bioestimulante aplicado. A cultivar ‘Stella’ apresentou valores superiores de EICI em todos os tratamentos, indicando maior capacidade carboxilativa geral em relação à ‘Pira Roxa’. Os tratamentos T2 e T5 promoveram os maiores incrementos de EICI em ‘Stella’, configurando-se como os tratamentos de melhor desempenho para essa cultivar. Os tratamentos T3, T4 e T6 apresentaram valores intermediários, mas ainda superiores ao controle T1, que exibiu o menor índice carboxilativo para ‘Stella’ (Figura 1).

Para a cultivar ‘Pira Roxa’, entretanto, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos, revelando estabilidade da EICI independentemente da aplicação dos bioestimulantes. Assim, enquanto ‘Stella’ demonstrou elevada responsividade às vitaminas e ao *A. brasilense*, ‘Pira Roxa’ apresentou baixa sensibilidade fisiológica aos bioinsumos avaliados.

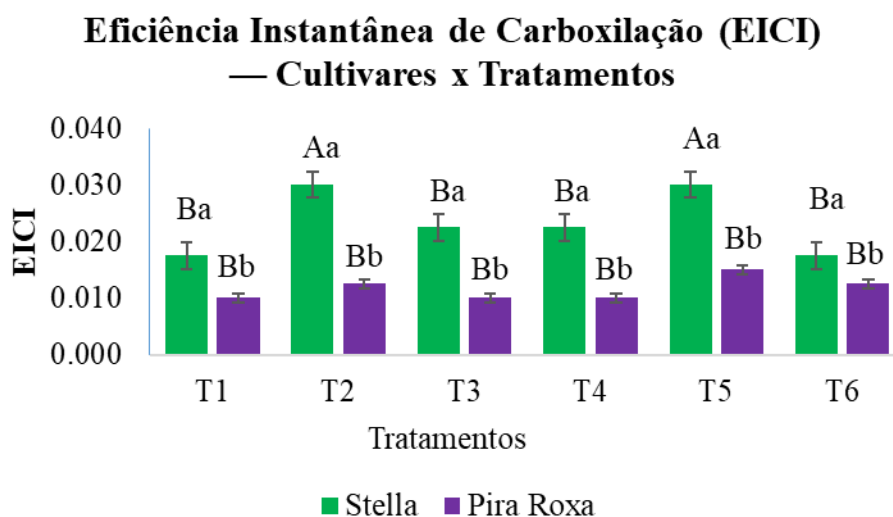


Figura1. Eficiência instantânea de carboxilação (EICI) em plantas de alface das cultivares ‘Stella’ e ‘Pira Roxa’ submetidas a diferentes tratamentos com nicotinamida, piridoxina e *A. brasilense*. Barras representam a média $\pm$ erro-padrão. Letras maiúsculas distintas indicam diferenças significativas entre tratamentos, enquanto letras minúsculas distintas indicam diferenças entre cultivares, pelo teste de Scott–Knott ($p \leq 0,05$). T1: controle; T2: *A. brasilense*; T3: nicotinamida; T4: nicotinamida + *A. brasilense*; T5: piridoxina; T6: *A. brasilense* + piridoxina.

A análise de componentes principais (PCA) (Figura 2) evidenciou distinção clara entre as cultivares quanto ao conjunto das variáveis fisiológicas e produtivas avaliadas. Os dois primeiros componentes principais explicaram 60,2% (Dim1) e 21% (Dim2) da variância total dos dados, totalizando 81,2% da variabilidade.

Observou-se nitidamente a formação de dois agrupamentos separados, representados pelas elipses: a cultivar ‘Stella’ agrupou-se na direção das variáveis A, W e MFPA, indicando maior eficiência

fotoassintética e maior produtividade. Por outro lado, ‘Pira Roxa’ posicionou-se próxima ao vetor C_i , demonstrando maior concentração interna de CO_2 e menor eficiência carboxilativa. Assim, a PCA confirma diferenças genotípicas marcantes, com ‘Stella’ apresentando desempenho fisiológico superior a ‘Pira Roxa’.

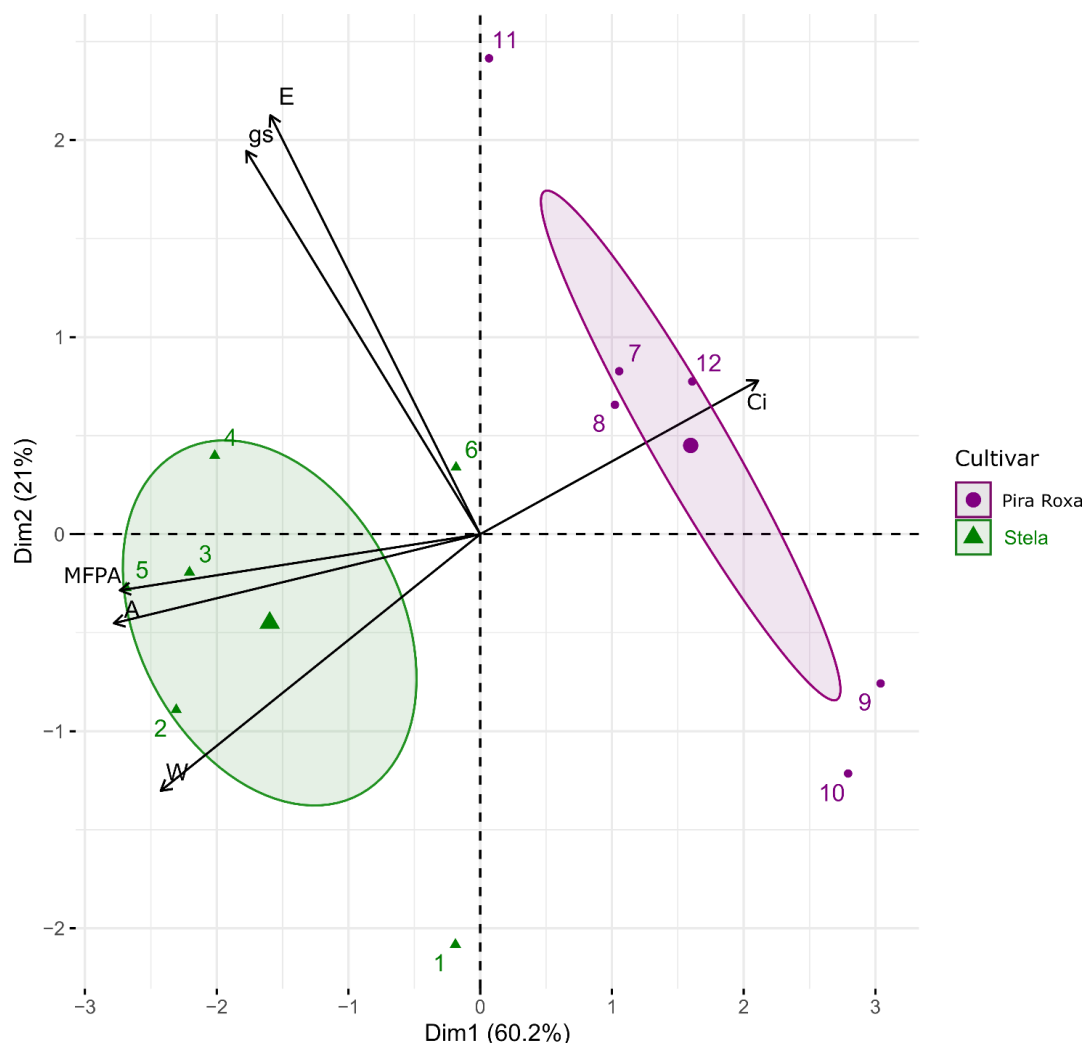


Figura 2. Análise de Componentes Principais (PCA) das variáveis fisiológicas (C_i , g_s , A , E , W) e produtiva (massa fresca) das cultivares de alface ‘Stella’ (triângulos verdes) e ‘Pira Roxa’ (círculos roxos) submetidas a tratamentos com nicotinamida, piridoxina e *A. brasilense*. Números representam os tratamentos: 1–6 para Pira Roxa e 7–12 para Stella (1/7=T1 Controle; 2/8=T2 Azos; 3/9=T3 Nico; 4/10=T4 Azos+Nico; 5/11=T5 Piri; 6/12=T6 Azos+Piri). As elipses representam o agrupamento das observações por cultivar, e os vetores indicam a contribuição e direção das variáveis para a formação dos componentes principais. O PC1 e PC2 explicaram 60,2% e 21% da variância total dos dados, respectivamente.

DISCUSSÃO

A aplicação de nicotinamida, piridoxina e *A. brasilense* não resultou em alterações significativas nas variáveis fisiológicas C_i , E , g_s e W , nem na variável de produtividade (MFPA) (Tabela 2). Essa ausência de resposta indica que sob as condições do experimento, os bioestimulantes aplicados isoladamente ou em combinação não foram suficientes para promover alterações expressivas no

metabolismo gasoso ou na produção das plantas. Resultados semelhantes têm sido relatados em estudos com alface e outras hortaliças quando o ambiente de cultivo apresenta baixa condição de estresse ou elevado suprimento nutricional, reduzindo a responsividade aos bioestimulantes (Garcia et al., 2023; Salazar-Garcia et al., 2022).

Apesar disso, observou-se resposta significativa da taxa fotossintética aos tratamentos, com maior desempenho numérico nos tratamentos com *A. brasilense* (T2), nicotinamida (T3) e piridoxina (T5) aplicados de forma isolada (Tabela 2). Esses compostos possuem mecanismos fisiológicos reconhecidos na literatura, que incluem modulação da síntese de fitormônios, melhoria da integridade dos sistemas fotossintéticos e estimulação do metabolismo antioxidante (Araújo et al., 2024; Garcia et al., 2024; Zaheer et al., 2022). A nicotinamida atua diretamente em vias redox e na produção de NAD/NADP, fundamentais para o transporte de elétrons e reações bioquímicas da fotossíntese (Ding et al., 2024). A piridoxina está envolvida na mitigação de estresses oxidativos e na síntese de aminoácidos (Balakina et al., 2021), enquanto *A. brasilense* é conhecido pela produção de auxinas e promoção do crescimento radicular (Giri et al., 2025).

As diferenças entre cultivares observadas para Ci, A, W e MFPA destacam a influência do componente genético sobre a eficiência fisiológica (Tabela 2). A cultivar ‘Stella’ apresentou maior desempenho fotossintético, maior eficiência no uso da água e maior acúmulo de biomassa, caracterizando um metabolismo mais eficiente na assimilação de carbono (Pereira et al., 2023). Esses achados estão em consonância com pesquisas recentes que evidenciam o melhor desempenho fisiológico e agrônômico de cultivares tropicalizadas de alface, que apresentam maior tolerância ao calor e maior capacidade de manutenção da fotossíntese sob alta radiação (Siquieroli et al., 2025). Por outro lado, a maior concentração intercelular de CO₂ (Ci) em ‘Pira Roxa’ (Tabela 2) indica menor eficiência de carboxilação, sugerindo limitação bioquímica ou estomática no processo fotossintético (Deans et al., 2019; Taylor et al., 2020).

A interação significativa observada para a eficiência instantânea de carboxilação (EICI) (Figura 1) reforça que a resposta aos bioestimulantes depende da combinação entre genótipo e insumo aplicado. A cultivar ‘Stella’ mostrou-se altamente responsiva, com incrementos de EICI especialmente nos tratamentos T2 (*A. brasilense*) e T5 (Piridoxina), enquanto ‘Pira Roxa’ apresentou estabilidade fisiológica e baixa sensibilidade às mesmas intervenções. Este comportamento diferencial é consistente com estudos que relatam que a eficiência de bioestimulantes depende da sensibilidade metabólica e das características intrínsecas de cada cultivar (Shahrajabian et al., 2021; Meena et al., 2025). Trabalhos recentes confirmam que a interação planta–vitamina–microrganismo pode ser extremamente eficiente, mas seus efeitos variam amplamente entre espécies e genótipos como mostrado no milho (Melo et al., 2025), na soja (Vendruscolo et al., 2025), e no melão (Ribeiro et al., 2024).

A análise de componentes principais (Figura 2) confirma que as diferenças fisiológicas observadas entre as cultivares têm forte determinante genético, resultando em padrões funcionalmente distintos de

uso de recursos e eficiência metabólica. O posicionamento de ‘Stella’ próximo às variáveis A, W e MFPA indica uma combinação favorável de maior capacidade fotossintética, melhor eficiência no uso da água e maior conversão de assimilados em biomassa, características típicas de genótipos mais eficientes e responsivos às condições de cultivo protegido. A diferenciação das cores nas alfaces verde na ‘Stella’ e roxa na ‘Pira Roxa’ evidencia mudanças na resposta fisiológicas de ambas as cultivares de alface o que determina a resposta obtida. Estudos recentes relatam comportamentos semelhantes em cultivares de alface com maior plasticidade fisiológica e maior habilidade de manter a fotossíntese sob ambientes quentes e luminosos (Siquieroli et al., 2025; Santander et al., 2024). Em contraste, o posicionamento de ‘Pira Roxa’ associado ao vetor Ci sugere limitação na etapa de carboxilação, com acúmulo de CO₂ no mesófilo sem incremento proporcional na fotossíntese — um padrão associado à menor eficiência da Rubisco ou a limitações no transporte de elétrons, conforme relatado também em outras cultivares menos eficientes (Ribeiro et al., 2024). Dessa forma, a PCA evidencia que as respostas fisiológicas não dependem apenas da aplicação de bioestimulantes, mas são fortemente moduladas pelas características intrínsecas de cada genótipo associadas a cor das cultivares, reforçando o papel central do material genético na determinação do desempenho fisiológico e produtivo da cultura.

De forma geral, os resultados demonstram que, nas condições deste estudo, os efeitos dos bioestimulantes foram limitados pelo ambiente favorável para o desenvolvimento da cultura, e que as diferenças intrínsecas entre as cultivares exerceram influência mais pronunciada sobre o desempenho fisiológico e produtivo. Além disso, a responsividade da ‘Stella’ sugere potencial para estudos posteriores em cenários de maior estresse ou com ajustes nas doses e frequências de aplicação, sobretudo considerando a crescente evidência de que interações entre vitaminas do complexo B e microrganismos promotores de crescimento podem melhorar significativamente a eficiência metabólica das plantas (Melo et al., 2025; Ribeiro et al., 2024).

CONCLUSÃO

A aplicação de nicotinamida, piridoxina e *Azospirillum brasilense* não resultou em efeitos significativos sobre as variáveis fisiológicas e produtivas da alface, indicando baixa responsividade dos genótipos sob condições de cultivo favoráveis. As diferenças entre cultivares foram mais pronunciadas que os efeitos dos bioestimulantes, com ‘Stella’ apresentando maior eficiência fotossintética e produtiva, enquanto ‘Pira Roxa’ mostrou menor eficiência carboxilativa. O uso da análise multivariada confirmou essa distinção genotípica entre as cultivares. Assim, o desempenho fisiológico foi determinado principalmente pelo material genético, e não pelos bioinsumos aplicados. Estudos futuros devem considerar diferentes doses, frequências de aplicação e condições de estresse para melhor explorar o potencial desses bioestimulantes.

REFERÊNCIAS

- Araújo, T. A. do N. de, Vendruscolo, E. P., Binotti, F. F. da S., Costa, E., Lima, S. F. de, Sant'Ana, G. R., & Bortolheiro, F. P. de A. P. (2024). Nicotinamide Increases the Physiological Performance and Initial Growth of Maize Plant. *International Journal of Agronomy*, 2024(1). <https://doi.org/10.1155/2024/5567314>
- Balakina, A., Prihodchenko, T., Amozova, V., Stupina, T., Mumyatova, V., Neganova, M., Yakushev, I., Kornev, A., Gadomsky, S., Fedorov, B., & Mishchenko, D. (2021). Preparation, Antioxidant Properties and Ability to Increase Intracellular NO of a New Pyridoxine Derivative B6NO. *Antioxidants*, 10(9), 1451. <https://doi.org/10.3390/antiox10091451>
- Bhering, L.L. Rbio: A Tool For Biometric And Statistical Analysis Using The R Platform. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v.17: 187-190p, 2017.
- Carolina Soil - Substratos de Alta Qualidade. Disponível em: <<https://carolinasoil.com.br/>>. Acesso em: 20 nov. 2025.
- CONAB - Companhia Nacional De Abastecimento. Boletim Hortigranjeiro, Brasília, DF, v. 11, n. 02, Fevereiro, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/hortigranjeiros-prohort/boletim-hortigranjeiro/boletins-hortigranjeiros-2025/boletim-hortigranjeiro-fevereiro-2025.pdf> (Acessado em 11 de novembro 2025).
- Deans, R. M., Farquhar, G. D., & Busch, F. A. (2019). Estimating stomatal and biochemical limitations during photosynthetic induction. *Plant, Cell & Environment*, 42(12), 3227–3240. <https://doi.org/10.1111/pce.13622>
- Ding, N., Yuan, Z., Sun, L., & Yin, L. (2024). Dynamic and Static Regulation of Nicotinamide Adenine Dinucleotide Phosphate: Strategies, Challenges, and Future Directions in Metabolic Engineering. *Molecules*, 29(15), 3687. <https://doi.org/10.3390/molecules29153687>
- Embrapa (2023). Brasil em 50 alimentos (1st ed.). Embrapa. <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1153294>
- Fitzpatrick, T. B. (2024). B Vitamins: An Update on Their Importance for Plant Homeostasis. *Annual Review of Plant Biology*, 75(1), 67–93. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-060223-025336>
- Franzoni, G., Cocetta, G., Prinsi, B., Ferrante, A., & Espen, L. (2022). Biostimulants on Crops: Their Impact under Abiotic Stress Conditions. In *Horticulturae* (Vol. 8, Issue 3). MDPI. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8030189>
- Garcia, A. A., Pradi Vendruscolo, E., Ferreira de Lima, S., De Castro Seron, C., Battistuzzi Martins, M., & Rodrigues Sant' Ana, G. (2023). Effect of B vitamins on lettuce plants subjected to saline stress. *Agronomía Colombiana*, 41(1), e104214. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v41n1.104214>
- Garcia, A. A., Vendruscolo, E. P., Lima, S. F. de, Costa, E., Martins, M. B., Seron, C. de C., Bastos, F. E. A., Lafleur, L., & Araújo, T. A. do N. de. (2024). Do vitamins change the morphophysiological

- characteristics of sweet pepper grown under irrigation with saline water? *Observatório de La Economía Latinoamericana*, 22(8), e6206. <https://doi.org/10.55905/oelv22n8-067>
- Giri, B. R., Chattaraj, S., Rath, S., Pattnaik, M. M., Mitra, D., & Thatoi, H. (2025). Unveiling the Molecular Mechanism of *Azospirillum* in Plant Growth Promotion. *Bacteria*, 4(3), 36. <https://doi.org/10.3390/bacteria4030036>
- Hong, J., Xu, F., Chen, G., Huang, X., Wang, S., Du, L., & Ding, G. (2022). Evaluation of the Effects of Nitrogen, Phosphorus, and Potassium Applications on the Growth, Yield, and Quality of Lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Agronomy*, 12(10), 2477. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102477>
- Instituto Nacional de Meteorologia (2020). Normais climatológicas do Brasil: 1991–2020. INMET. <https://www.gov.br/inmet/pt-br>
- Meena, D. C., BIRTHAL, P. S., & KUMARA, T. M. K. (2025). Biostimulants for sustainable development of agriculture: a bibliometric content analysis. *Discover Agriculture*, 3(1), 2. <https://doi.org/10.1007/s44279-024-00149-5>
- Melo, S. S., Santos, M. A. dos, Bronstrup, L. G. S., Arend, L. C., Vendruscolo, E. P., Silva, G. P. V. da, Binotti, F. F. da S., Lima, S. F. de, & Bortolheiro, F. P. de A. P. (2025). Plant-Vitamin-Bacteria Interaction Improves Gas Exchange and Initial Growth of Corn Plants. *ACS Agricultural Science & Technology*, 5(8), 1572–1579. <https://doi.org/10.1021/acsagscitech.4c00718>
- Pereira, D. de F., Silva, T. P. da, Freire, Winandy. A., Souza, Ê. G. F., Cruz, E. A. da, & Feitosa, R. M. (2023). Agronomic characteristics and quality of lettuce cultivars in different crop seasons in western Alagoas, Brazil. *Revista Caatinga*, 36(1), 106–114. <https://doi.org/10.1590/1983-21252023v36n112rc>
- Ribeiro, V., Vendruscolo, E. P., Conceição, J. S., Lima, S. F. de, Binotti, F. F. da S., Bortolheiro, F. P. de A. P., Oliveira, C. E. da S., Costa, E., & Lafleur, L. (2024). Plant–Vitamin–Microorganism Interaction in Hydroponic Melon Cultivation. *Horticulturae*, 10(12), 1329. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10121329>
- Salazar-García, G., Balaguera-Lopez, H. E., & Hernandez, J. P. (2022). Effect of Plant Growth-Promoting Bacteria *Azospirillum brasilense* on the Physiology of Radish (*Raphanus sativus* L.) under Waterlogging Stress. *Agronomy*, 12(3), 726. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030726>
- Santander, C., González, F., Pérez, U., Ruiz, A., Aroca, R., Santos, C., Cornejo, P., & Vidal, G. (2024). Enhancing Water Status and Nutrient Uptake in Drought-Stressed Lettuce Plants (*Lactuca sativa* L.) via Inoculation with Different *Bacillus* spp. Isolated from the Atacama Desert. *Plants*, 13(2), 158. <https://doi.org/10.3390/plants13020158>
- Shahrajabian, M. H., Chaski, C., Polyzos, N., & Petropoulos, S. A. (2021). Biostimulants application: A low input cropping management tool for sustainable farming of vegetables. In *Biomolecules* (Vol. 11, Issue 5). MDPI. <https://doi.org/10.3390/biom11050698>

- Siquieroli, A. C. S., Maciel, G. M., Durães, T. M., da Silva, F. B., Silva, F. G., Bento, C. H. P., Luz, J. M. Q., Peres, H. G., Rocha, I. P. S., & Morotti, C. F. (2025). Tropicalized lettuce: photosynthetic efficiency, water use, and agronomic–nutritional potential. *BMC Plant Biology*, 25(1), 1380. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-07397-7>
- Sun, W., Shahrajabian, M. H., & Wang, N. (2025). A Study of the Different Strains of the Genus *Azospirillum* spp. on Increasing Productivity and Stress Resilience in Plants. *Plants*, 14(2), 267. <https://doi.org/10.3390/plants14020267>
- Taylor, S. H., Orr, D. J., Carmo-Silva, E., & Long, S. P. (2020). During photosynthetic induction, biochemical and stomatal limitations differ between Brassica crops. *Plant, Cell & Environment*, 43(11), 2623–2636. <https://doi.org/10.1111/pce.13862>
- Vendruscolo, E. P., Ribeiro, B. L. Q., Bortolheiro, F. P. de A. P., Meira, L. B. V., Martins, M. B., da Silva Binotti, F. F., Seron, C. de C., de Araújo, T. A. do N., & de Lima, S. F. (2025). Pyridoxine acts as a booster of gas exchange and soybean production components. *Crop Science*, 65(4). <https://doi.org/10.1002/csc2.70122>
- Vendruscolo, E. P., Seron, C. de C., Leonel, E. A. S., Lima, S. F. de, Araujo, S. L., Martins, M. B., Sant'Ana, G. R., & Oliveira, J. J. de. (2023). Do vitamins affect the morphophysiology of lettuce in a hydroponic system? *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 27(9), 698–703. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n9p698-703>
- Zaheer, M. S., Ali, H. H., Iqbal, M. A., Erinle, K. O., Javed, T., Iqbal, J., Hashmi, M. I. U., Mumtaz, M. Z., Salama, E. A. A., Kalaji, H. M., Wróbel, J., & Dessoky, E. S. (2022). Cytokinin Production by *Azospirillum brasilense* Contributes to Increase in Growth, Yield, Antioxidant, and Physiological Systems of Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Frontiers in Microbiology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.886041>

Deficiência hídrica afeta o desenvolvimento do sorgo (*Sorghum bicolor* L.)

Recebido em: 29/11/2025

Aceito em: 09/12/2025

 10.46420/9786585756709cap4

Joaquim Tenório Neto 

Murilo Battistuzzi Martins 

INTRODUÇÃO

O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) é uma espécie de provável origem Africana, domesticada pelo homem desde 3.000 a.c., que possui alto valor energético e fácil adaptabilidade a regiões de clima seco e quente, onde não se consegue boa produtividade de grãos e outras forragens (Ribas, 2003). Esta espécie, possui destaque na agricultura mundial, sendo uma das cinco principais culturas implantadas, com maior ênfase para a utilização em alimentação animal (Waquil et al., 2003). Apresenta versatilidade em seu uso, tanto na obtenção de matéria prima para amido, cereais, bebidas, ração, óleos, quanto na produção bioenergéticas de biocombustíveis (Silva, 2019).

Segundo o relatório da Conab, a safra brasileira de sorgo 22/23 foi de 4.788,7 mil t⁻¹, sendo esperadas segundo o 8º relatório de maio da Companhia Nacional de Abastecimento, para a safra 23/24, 4.909,3 mil t⁻¹ do grão (Conab, 2024).

Devido ao seu bom desenvolvimento radicular, extenso e fibroso, torna-se mais eficiente na busca por recursos hídricos e minerais (Magalhães et al., 2003). É uma gramínea adaptada a ambientes secos, possuindo faixa de temperatura ideal de 33°C a 34°C graus, apresentando decréscimo produtivo em temperaturas abaixo de 16°C e acima de 38°C graus (Duarte et al., 2021). Separada em cinco grupos agrônômicos, sendo granífero e forrageiro voltados a alimentação humana e animal, havendo destaque na economia, por conta de sua produção e consumo (Silva, 2019; Landau et al., 2020).

O sorgo granífero apresenta amplo potencial para uso nos cultivos de safrinha na região Centro-Oeste, sendo possível mecanizar as práticas culturais da lavoura. Essa cultura permite, uma maior amplitude da época de semeadura, possibilitando maior flexibilidade na implantação (Pale et al., 2003).

O sorgo cultivado em safrinha pode constar como alternativa, pois é uma espécie tolerante ao estresse hídrico e, de acordo com Stone et al. (1996), é mais eficiente para produção de grãos do que o milho, cultura comumente utilizada no Brasil em plantios de segunda safra. O estresse hídrico tem influência em todas as fases na cultura do sorgo, todavia, a fase em que o estresse hídrico proporciona maior perda de produtividade de grãos é na fase reprodutiva. Com o estresse nessa fase, várias sementes em potencial deixam de ser formadas, seja pelo abortamento ou pelo desenvolvimento insuficiente da

panícula e, mesmo após a fertilização do óvulo, o estresse hídrico compromete o enchimento de grãos (Tardin et al., 2013).

O stress hídrico causa drástica redução no crescimento e rendimento do sorgo (Xiong et al., 2006), prejudicando os processos fisiológicos e metabólicos de seu desenvolvimento (Taiz et al., 2017). Por conter sistema radicular denso e profundo, apresenta capacidade de redução de sua transpiração, por conta do enrolamento foliar e fechamento estomático, reduzindo seu metabolismo durante o período de deficiência hídrica (Reddy et al., 2009).

Por conta de sua adaptabilidade a diferentes condições climáticas e solos, se destacando como uma cultura versátil e de alto rendimento em diversas regiões do país, a produtividade do sorgo na safra brasileira tem sido objeto de grande interesse e pesquisa nos últimos anos. Sua capacidade de resistir a secas e tolerância a solos de baixa fertilidade o torna uma opção atraente para agricultores em áreas propensas à escassez hídrica.

O presente estudo teve como objetivo avaliar como diferentes níveis de deficiência hídrica afetam o desenvolvimento e a produtividade do sorgo. Para isso, buscou-se analisar variáveis morfológicas e produtivas sob tensões de 10, 20, 40 e 60 kPa, identificar a relação entre o estresse hídrico e o desempenho da cultura, aplicar análises estatísticas para interpretar os efeitos observados.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Unidade Universitária de Cassilândia (UUC), situada no município de Cassilândia (latitude 19°07'21" S, longitude 51°43'15" W e altitude de 516 m). De acordo com a classificação climática de Köppen, a região apresenta clima tropical chuvoso do tipo Aw, caracterizado por verão chuvoso e inverno seco, com precipitação inferior a 60 mm durante o inverno. A precipitação e a temperatura médias anuais são de 1.520 mm e 24,1 °C, respectivamente.

O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, conduzido em ambiente protegido com quatro repetições, sendo avaliados quatro níveis de tensão de água no solo (10, 20, 40 e 60 kPa).

O experimento foi conduzido em Neossolo Quartzarênico de textura arenosa, conforme classificação do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS). O solo foi previamente corrigido e adubado, sendo acondicionado em vasos de polietileno com capacidade de 12 litros, contendo 10 kg de solo. A semeadura foi feita com o sorgo granífero cultivar "Brevant 1G100", utilizando-se seis sementes por vaso. Após cerca de uma semana da emergência, realizou-se o raleio, mantendo-se apenas uma plântula por vaso, escolhida por seu vigor e desenvolvimento satisfatório, de modo a garantir uniformidade experimental.

O cultivo foi realizado no período de abril a julho, abrangendo todo o ciclo de desenvolvimento da cultura, desde a fase vegetativa até a fase reprodutiva e a maturação dos grãos. Os diferentes níveis de

tensão de água no solo (10, 20, 40 e 60 kPa) foram aplicados e mantidos de forma contínua a partir do estabelecimento das plantas após a emergência, estendendo-se ao longo das fases vegetativa e reprodutiva do sorgo.

Os níveis de tensão de água no solo foram determinados por meio da curva de retenção de água, conforme metodologia descrita por Souza (2016), utilizando tensiômetros instalados nos vasos. O solo foi saturado previamente, e a umidade correspondente à capacidade de vaso foi de aproximadamente $0,25 \text{ kg kg}^{-1}$, valor considerado o teor máximo de água que o solo é capaz de reter sem drenagem de água e nutrientes. A variação da umidade foi monitorada pela massa dos vasos e pela tensão correspondente, e a curva de retenção de água foi ajustada segundo o modelo de Van Genuchten (1980).

O monitoramento da umidade do solo foi realizado diariamente com auxílio de uma balança digital. A irrigação foi efetuada manualmente, utilizando-se recipiente graduado, e ajustada conforme a necessidade de cada tratamento, de modo a manter os níveis de tensão hídrica previamente estabelecidos ao longo do ciclo da cultura. Quinze dias antes da colheita, a irrigação foi suspensa em todos os tratamentos, com o objetivo de favorecer a maturação natural dos grãos, prática adotada para assegurar características adequadas à colheita, não sendo considerada como imposição adicional de estresse hídrico experimental.

Na fase de maturação do sorgo, foram avaliadas as seguintes variáveis: altura total da planta (cm), diâmetro do colmo (mm), comprimento da panícula (cm) e produtividade (kg ha^{-1}). A altura total foi determinada com fita métrica graduada, medindo-se a distância entre a base do colmo e o ápice da planta, e o diâmetro do colmo foi determinado a 1 cm acima do solo, utilizando paquímetro digital. O comprimento da panícula foi medido com fita métrica, da base até o ápice, e a produtividade foi estimada a partir da massa dos grãos após colheita, debulha e correção da umidade.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, quando significativo, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o software Rbio (Bhering, 2017).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os resultados obtidos na Tabela 1, observou-se que ao se elevar o nível de deficiência hídrica (aumento da tensão de água no solo) ocorreu uma redução na altura total e altura, no diâmetro do colmo, no comprimento de panícula e consequentemente na produtividade.

A maior altura total foi de 94,06 cm no tratamento com 10 kPa de tensão de água no solo. Esse resultado pode ser relacionado à maior disponibilidade hídrica para as plantas, uma vez que, nesse tratamento, o solo se encontrava próximo à capacidade de campo, não impondo restrições ao desenvolvimento vegetativo. Em condições de menor estresse, o sorgo consegue expressar plenamente seu potencial de crescimento, favorecido por seu sistema radicular profundo e eficiente na absorção de água, conforme descrito na literatura (Magalhães et al., 2003). Dependendo da duração e intensidade do

estresse hídrico, pode ocorrer comprometimento do crescimento e do desenvolvimento da cultura (Batista, 2018).

Tabela 1. Resultados das variáveis morfológicas de Altura total (cm), Diâmetro do Colmo (mm), Comprimento de Panícula (cm) e Produtividade (kg ha^{-1}). As letras maiúsculas referem-se as médias de níveis de tensão de água no solo (kpa), enquanto as minúsculas as de profundidade de semeadura.

Tratamentos	Altura Total (cm)	Diâmetro do Colmo (mm)	Comprimento de Panícula (cm)	Produtividade (kg ha^{-1})
T1.10Kpa	94.06 A	14.34 A	18.87 A	2274 A
T2.20Kpa	79.31 A	9.64 B	16.25 A	2326 A
T3.40Kpa	41.12 B	9.89 B	5.87 B	184 B
T4.60Kpa	27.5 B	10.42 B	4.23 B	72 B

Contribuem também com os resultados obtidos o estudo de Guedes et al. (2007), que, ao avaliarem linhagens de sorgo granífero quanto à tolerância ao déficit hídrico, observaram médias de altura de 138 cm em condição não irrigada e 142 cm em condição irrigada, evidenciando maior crescimento sob maior disponibilidade hídrica. Nos tratamentos intermediários deste estudo (20 e 40 kPa), que representam estresse hídrico moderado, a redução da altura sugere que, embora o sorgo apresente mecanismos de tolerância, como enrolamento foliar e ajuste osmótico, esses mecanismos priorizam a sobrevivência da planta em detrimento do crescimento vegetativo.

Quanto ao diâmetro do colmo, os diferentes níveis de tensão hídrica (10, 20, 40 e 60 kPa) demonstraram diferença significativa apenas para o tratamento com 10 kPa (Tabela 1), que apresentou o maior valor médio (14,34 mm). Esse resultado confirma que a maior disponibilidade de água favorece o crescimento do colmo. No entanto, observa-se que não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos de 20, 40 e 60 kPa, cujos valores variaram de 9,64 a 10,42 mm, comportamento que merece destaque.

Nascimento (2008) obteve resultados semelhantes, observando variabilidade no diâmetro do colmo em função das lâminas de irrigação, com valores de 17,0 mm sob maior disponibilidade hídrica e 12,9 mm sob menor disponibilidade. A ausência de diferença significativa no diâmetro do colmo entre os níveis de estresse moderado e severo (20 a 60 kPa) pode estar associada a mecanismos adaptativos do sorgo, como o uso de reservas estruturais do colmo, alterações na espessura da parede celular ou priorização da manutenção estrutural após um estresse inicial, conforme descrito para espécies tolerantes à seca. Esses ajustes fisiológicos permitem certa estabilidade do colmo mesmo sob condições de restrição hídrica mais acentuada.

O comprimento da panícula é um importante parâmetro que influencia diretamente o rendimento e a qualidade dos grãos em culturas como o sorgo (Magalhães et al., 2003). Foi observada clara influência do nível de tensão hídrica sobre o comprimento da panícula, com valores significativamente superiores

nos tratamentos de 10 e 20 kPa (18,87 e 16,25 cm, respectivamente) em comparação aos tratamentos de 40 e 60 kPa (Tabela 1). Essa resposta evidencia que, sob estresse moderado, o sorgo ainda consegue sustentar parcialmente o desenvolvimento reprodutivo, porém, sob estresse mais intenso, ocorre forte limitação na formação e no alongamento da panícula.

Esses resultados são consistentes com os estudos de Tolk et al. (2013), que relataram redução no comprimento da panícula e na massa de grãos sob déficit hídrico, uma vez que a diminuição do comprimento da panícula reduz o número potencial de grãos formados, comprometendo diretamente o rendimento.

Os resultados de produtividade revelaram que, nas faixas de 40 e 60 kPa, houve redução significativa na produtividade do sorgo. Esses níveis mais elevados de déficit hídrico resultaram em comprometimento substancial do crescimento, do desenvolvimento e da formação de grãos (Tabela 1). Mesmo no tratamento de 20 kPa, considerado de estresse moderado, observa-se que, embora a produtividade tenha sido mantida em patamar semelhante ao de 10 kPa, houve redução em variáveis morfológicas, indicando que os mecanismos de tolerância atuaram para preservar a produção em detrimento do crescimento vegetativo.

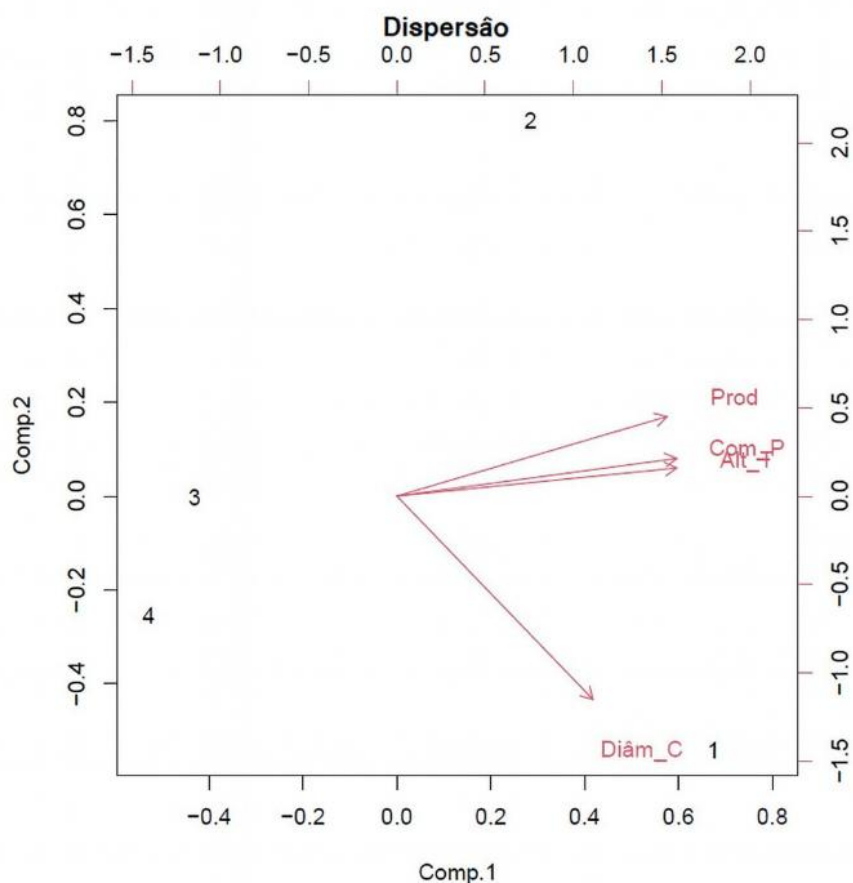


Figura 1. Análise de Componentes Principais (ACP) obtido ao avaliar variáveis morfológicas e de produtividade do sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) sob diferentes tensões de água no solo. Os números de 1 até 4 se correspondem com os tratamentos aplicados 10Kpa, 20Kpa, 40Kpa e 60Kpa, respectivamente. As siglas representam as variáveis medidas: Altura Total (Alt_T), Diâmetro do Colmo (Diâm_C), Comprimento de Panícula (Comp_P) e Produtividade (Prod).

Esse estresse abiótico comprova a sensibilidade do sorgo à escassez de água em estágios críticos como o florescimento e o enchimento de grãos, conforme relatado por Xiong et al. (2006), que destacam a drástica redução no rendimento sob estresse hídrico. Goche et al. (2020) observaram que plantas de sorgo apresentam fechamento estomático e manutenção do conteúdo hídrico foliar sob estresse, o que favorece a sobrevivência, no entanto, esses mecanismos podem limitar a assimilação de carbono e, consequentemente, reduzir a formação e o enchimento dos grãos, especialmente sob estresse prolongado.

Para uma avaliação mais aprofundada das relações entre as variáveis e o agrupamento dos tratamentos sob diferentes tensões de água no solo, empregou-se também a análise multivariada, utilizando a Análise de Componentes Principais (PCA) e a Análise de Cluster Hierárquica, apresentadas na Figura 2 (Heatmap) e Figura 1 (Gráfico de Dispersão), respectivamente.

A Análise de Componentes Principais (ACP) é uma técnica que permite reduzir a dimensionalidade dos dados e visualizar as similaridades entre os tratamentos. Na Figura 1 é apresentada a dispersão das variáveis e tratamentos empregados ao avaliar a cultura do sorgo e aplicar déficit hídrico quando realizada a ACP. A ACP mostra que a análises consegue reter 99.40% da variabilidade dos dados, distribuídos em 96,1% no Comp1 e 3.29% no Comp2 (Figura 1).

A projeção dos tratamentos (pontos numerados) e das variáveis (vetores em vermelho) nas duas primeiras componentes principais (Comp.1 e Comp.2) mostra que o comprimento e a direção dos vetores indicam que a Prod, Comp_P e Alt_T apresentam forte correlação positiva por se orientarem na mesma direção, o que confirma que maiores valores de crescimento vegetativo se associam a maior produtividade, enquanto o Diâm_C, embora positivamente correlacionado, apresenta orientação ligeiramente distinta, indicando contribuição específica na variação total. Esse comportamento do diâmetro do colmo sugere uma resposta mais conservativa dessa variável frente ao estresse hídrico moderado, possivelmente relacionada a mecanismos fisiológicos de adaptação, como a manutenção estrutural do colmo mesmo sob redução da disponibilidade de água.

Os pontos de tratamento representam os níveis de tensão hídrica [1 (10 kPa), 2 (20 kPa), 3 (40 kPa) e 4 (60 kPa)] e, ao se distribuírem na figura, evidenciam que o tratamento de 10 kPa é o que mais influencia positivamente as variáveis mensuradas (Figura 1). Os tratamentos de 20 e 40 kPa posicionam-se de forma intermediária, indicando que, sob estresse moderado, o sorgo ainda mantém parte de seu desempenho produtivo, possivelmente em função de estratégias adaptativas como o fechamento estomático e o enrolamento foliar, descritas na literatura.

O Heatmap (Figura 2) complementa os resultados mostrados na ACP, fornecendo uma visualização hierárquica por cores. A análise de *cluster* horizontal divide claramente os tratamentos em dois grupos principais: T1 e T2 (alto desempenho) e T3 e T4 (baixo desempenho).

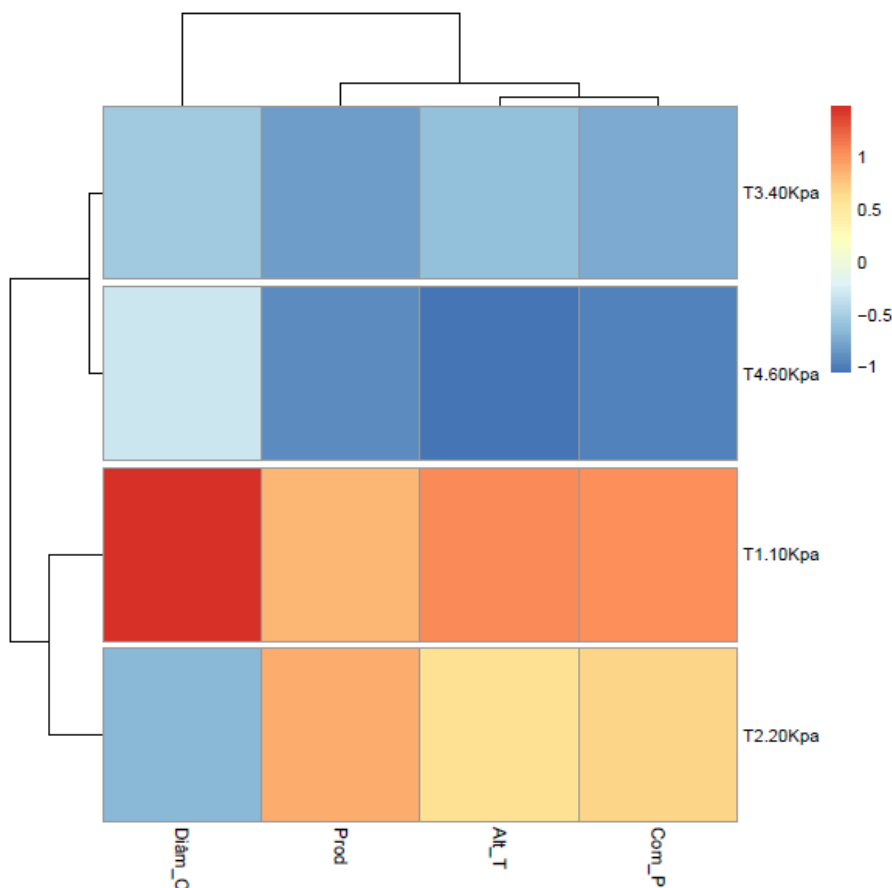


Figura 2. Mapa de Calor (Heatmap) da análise de *cluster* hierárquica das variáveis morfológicas e de produtividade do sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) em função de quatro níveis de tensão de água no solo (kPa). As siglas representam as variáveis medidas: Altura Total (Alt_T), Diâmetro do Colmo (Diâm_C), Comprimento de Panícula (Comp_P) e Produtividade (Prod). As colorações indicam a magnitude dos valores padronizados (z-score), variando de azul a vermelho.

Os tratamentos T1 a T4 foram agrupados com base nos valores padronizados de Diâm_C, Prod, Alt_T e Comp_P, cuja escala de cores varia do vermelho (maiores médias e melhor desempenho) ao azul (menores médias e pior desempenho); nessa representação, T1 (10 kPa) destaca-se com tons vermelho-alaranjados, especialmente para Diâm_C e Prod, confirmando o superior desenvolvimento e produtividade, enquanto T3 (40 kPa) e T4 (60 kPa) apresentam tons azul escuro em todas as variáveis, evidenciando forte redução no crescimento e no rendimento. A estabilidade relativa do Diâmetro do Colmo nos tratamentos de 20 a 60 kPa reforça a hipótese de que essa variável apresenta menor plasticidade frente ao estresse hídrico após um determinado limiar, possivelmente devido ao uso de reservas estruturais ou ajustes na parede celular.

Em suma, os resultados deste estudo indicam que o sorgo demonstrou uma relativa capacidade de tolerância à deficiência hídrica moderada, mantendo uma produção estável de grãos. Essa tolerância pode estar associada a mecanismos fisiológicos e morfoestruturais que priorizam a sobrevivência e a manutenção da produtividade sob estresse moderado. No entanto, a produtividade foi severamente comprometida sob condições de níveis de tensão mais intensa, destacando a importância da gestão

adequada da água no cultivo do sorgo, especialmente em regiões suscetíveis à escassez de recursos hídricos.

CONCLUSÃO

A deficiência hídrica influenciou negativamente todas as variáveis mesuradas, com melhores resultados observados em condições de menor nível de tensão de água no solo de 10 kpa.

O comprimento de panícula e a produtividade apresentam reduções significativas, sendo afetadas sob condições de tensão hídrica mais intensa de 40 a 60 kpa, mantendo sua produção de grãos relativamente estável nos níveis de 10 a 20 kpa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bhering, L.L. (2017). Rbio: A Tool For Biometric And Statistical Analysis Using The R Platform. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 17, 187-190.
- Conab (2024). Safra brasileira de grãos. Recuperado em 4 de junho de 2024, de <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>
- Duarte, N. L., et al. (2021). Cultura do sorgo (*Sorghum bicolor* [L.] Moench): uma revisão sobre sua versatilidade tecnológica, processamento e pós-colheita. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2021.
- Goche, T., Shargie, N. G., Cummins, I., Brown, A. P., Chivasa, S., & Ngara, R. (2020). Comparative physiological and root proteome analyses of two sorghum varieties responding to water limitation. *Scientific Reports*, 10, 11835.
- Guedes, F. L., Tardin, F. D., Magalhães, J. V., Nascimento, J. M. S., Santos, F. G., & Schaffert, R. E (2007) Avaliação fenotípica de linhagens de sorgo granífero quanto à tolerância à seca em pós-florescimento. In Congresso Brasileiro de Melhoramento de Plantas.
- Landau, E. C. (2020). Dinâmica da produção agropecuária e da paisagem natural no Brasil nas últimas décadas (Vol. 4, 414 p.). Embrapa. (Obra original publicada em 2015). Disponível em http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/214957/1/LivroDinamicaAgropecB_R-Vol04.pdf
- Magalhães, P. C., et al. (2003). Fisiologia da planta do sorgo. Embrapa Milho e Sorgo. (Comunicado Técnico, 86).
- Nascimento, R. (2008). Crescimento de plantas de sorgo sob diferentes disponibilidades de água no solo. *Revista Educação Agrícola Superior*, 23(1), 53–54.
- Pale, S., Mason, S. C., & Galusha, T. D. (2003). Planting time for early-season pearl millet and grain sorghum in Nebraska. *Agronomy Journal*, 95(4), 1047–1053.

- Reddy, B. V. S., Ramesh, S., Reddy, P. S., & Kumar, A. A. (2009). Genetic enhancement for drought tolerance in sorghum. *Plant Breeding Reviews*, 31, 189–222.
- Ribas, P. M. (2003). Sorgo: introdução e importância econômica. Infoteca Embrapa. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br>
- Silva, L. C. de M. (2019). Cinética de secagem dos grãos e caracterização física e química durante o armazenamento de farinha de sorgo granífero (Tese de Doutorado, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia).
- Souza, L. D. (2016). Adaptation of the Self-Compassion Scale for Use in Brazil: Evidences of Construct Validity. *Soil Science Society of America Journal*, 44(5), 892–898.
- Stone, L. R., Schlegel, R. E., Gwin, R. E., & Khan, A. H. (1996). Response of corn, grain sorghum, and sunflower to irrigation in the High Plains of Kansas. *Agricultural Water Management*, 30, 251–259.
- Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I. M., & Murphy, A. (2017). *Fisiologia vegetal* (6. ed., 888 p.). Artmed.
- Tardin, F. D., et al. (2013). Avaliação agronômica de híbridos de sorgo granífero cultivados sob irrigação e estresse hídrico. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 12(2), 102–117.
- Tolk, J. A., Howell, T. A., & Miller, F. R. (2013). Análise de componentes de rendimento de sorgo cultivado sob estresse hídrico. *Field Crops Research*, 145, 44–51.
- Van Genuchten, M. Th. (1980). A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, 44(5), 892–898. <https://doi.org/10.2136/sssaj1980.03615995004400050002x>
- Waquil, J. M., Viana, P. A., & Cruz, I. (2003). Manejo de pragas na cultura do sorgo.
- Xiong, L., Wang, R., Mao, G., & Koczan, J. M. (2006). Identification of drought tolerance determinants by genetic analysis of root response to drought stress and abscisic acid. *Plant Physiology*, 142, 1065–1074.

Desenvolvimento inicial de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar sob aplicação de bioestimulante e *Azospirillum brasilense*

Recebido em: 29/11/2025

Aceito em: 09/12/2025

 10.46420/9786585756709cap5

Luiza Guidi Ganzella 

Werverth Costa Martins 

Jorge González Aguilera 

Fábio Steiner 

Leandris Argentel Martínez 

INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma gramínea perene da família Poaceae, de origem asiática, com ampla adaptabilidade às condições tropicais, encontrando no Brasil condições edafoclimáticas ideais para seu desenvolvimento (Santos et al., 2012; Silva et al., 2020). A cultura desempenha papel fundamental na economia global, sendo o Brasil o maior produtor mundial, com produção recorde de 705 milhões de toneladas na safra 2023/2024, resultado de condições climáticas favoráveis, investimentos em renovação de canaviais e tecnologias de melhoria de produtividade (CONAB, 2024). A área plantada na região Centro-Sul atingiu 8,4 milhões de hectares, com produtividade média de 83 toneladas por hectare na safra 2023/24 (CONAB, 2024), valores ainda considerados baixos quando comparados ao potencial genético da cultura.

Diante da necessidade de aumentar a eficiência produtiva, o setor sucroenergético tem investido em tecnologias inovadoras, destacando-se o sistema de mudas pré-brotadas (MPB) descrito por Silva et al. (2020). Este método de estabelecimento da cultura requer significativamente menor quantidade de material vegetal (1-2 toneladas por hectare) em comparação ao método convencional com toletes (12-20 toneladas por hectare). Estudos de longo prazo demonstraram que o sistema MPB proporciona produtividades de colmos e conteúdo de açúcares totais recuperáveis similares ao método convencional, sendo destacado como oportunidade promissora para aumentar a disponibilidade de matéria-prima para produção de etanol e garantir mudas de ótima qualidade (Silva et al., 2020; Santos et al., 2021).

O sistema MPB é uma tecnologia de multiplicação rápida que contribui para a produção acelerada de mudas, associando elevado padrão fitossanitário, vigor e uniformidade de plantio, além de redução drástica no uso de mudas por área (Silva et al., 2020; Xavier et al., 2022). A otimização da qualidade das mudas pré-brotadas pode ser alcançada através do uso de produtos que atuam no metabolismo hormonal, nutricional e fisiológico das plantas.

Neste contexto, a aplicação de bioestimulantes e bactérias promotoras do crescimento vegetal tem despertado crescente interesse científico (Yakhin et al., 2017; Santos et al., 2018; Schultz et al., 2019; Viana et al., 2020; Souza et al., 2020; Oliveira et al., 2021; Scudeletti et al., 2023). Bioestimulantes são definidos como substâncias ou microrganismos que, quando aplicados em sementes, plantas ou rizosfera, agem para suportar os processos naturais das plantas independentemente do conteúdo nutricional, melhorando a disponibilidade de nutrientes, eficiência de absorção, tolerância a estresses e qualidade das culturas (Du Jardin, 2015; Yakhin et al., 2017). Estas substâncias podem conter misturas complexas de compostos orgânicos como extratos de algas, hidrolisados proteicos, substâncias húmicas e microrganismos, além de elementos inorgânicos, funcionando por meio da modulação hormonal e estimulação de processos metabólicos (Rouphael; Colla, 2020; Bulgari et al., 2019).

Segundo Fukami et al. (2018) e Pedrosa et al. (2020) dentre as bactérias promotoras do crescimento vegetal, *Azospirillum brasilense* destaca-se como uma das mais estudadas para aplicação em gramíneas, como nas culturas do milho, trigo (Galindo et al., 2020), arroz e cana-de-açúcar (Santos et al., 2021). Esta bactéria possui capacidade de fixar nitrogênio atmosférico e produzir fitohormônios que potencializam o desenvolvimento vegetal (Cassán et al., 2020; Pedrosa et al., 2020; Santos et al., 2021; Galindo et al., 2022). Estudos recentes demonstraram que a inoculação de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar com *A. brasilense* resultou em incremento na massa seca da parte aérea em cultivares específicas, com a dose ótima de aplicação variando entre 2 e 3 mL de inoculante por muda para produção de mudas pré-brotadas de alta qualidade (Oliveira et al., 2021). A inoculação com *Azospirillum* é uma estratégia promissora para aumentar a produção de bioetanol e açúcar, bem como os retornos agrônômicos e econômicos, beneficiando toda a cadeia produtiva da cana-de-açúcar (Schultz et al., 2019; Gonçalves et al., 2021). Estas bactérias contribuem para o crescimento das plantas através de diversos mecanismos, incluindo o desenvolvimento do sistema radicular, síntese de fitohormônios, solubilização de fosfatos e aumento da resistência a estresses bióticos e abióticos (Fukami et al., 2018; Pedrosa et al., 2020).

A combinação de bioestimulantes hormonais com inoculantes bacterianos representa uma abordagem sinérgica para otimização da produção de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar. Os mecanismos subjacentes à ação dos bioestimulantes incluem o fortalecimento das defesas antioxidantes, regulação de vias hormonais e indução de ajustes metabólicos que aumentam a resiliência das plantas (Van Oosten et al., 2017; Sharma et al., 2022). Este estudo foi conduzido com o objetivo de avaliar a eficiência do tratamento de minirrebolos por imersão em soluções contendo bioestimulante à base de hormônios vegetais e *Azospirillum brasilense*, de forma isolada ou em combinação, sobre o desenvolvimento inicial das mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Ecofisiologia Vegetal da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Unidade Universitária de Cassilândia – MS (19°05'30" S 51°48'55" W e

altitude média de 540 m), durante os meses de outubro e novembro de 2023. Durante o experimento, a temperatura do ar foi monitorada diariamente usando um Data Logger digital modelo ITLOG-80 (Instrutemp Instrumentos de Medição Ltda, São Paulo, SP, BRA) instalado no interior do Laboratório de Ecofisiologia Vegetal. A temperatura mínima e máxima diária durante a condução do experimento variou de 24,8 e 29,4 °C, respectivamente.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC) com quatro tratamentos e seis repetições. Os tratamentos foram constituídos pelo uso de quatro tratamento dos minirrebolos: i) controle (minirrebolo não tratado); ii) minirrebolo tratado com solução contendo 5 ml L⁻¹ de Stimulate®; iii) minirrebolo tratado com solução contendo 50 ml L⁻¹ de *Azospirillum brasilense*; e, iv) minirrebolo tratado com a combinação de 5 ml L⁻¹ de Stimulate® e 50 ml L⁻¹ de *Azospirillum brasilense*. Os minirrebolos permaneceram imersos por 1 h nas respectivas soluções contendo o bioestimulante e/ou inoculante biológico conforme recomendado por Xavier et al. (2022). Os minirrebolos que não receberam a aplicação de bioestimulante ou de inoculante foram imersos por 1 h em água destilada. Cada unidade experimental foi composta por uma muda pré-brotada de cana-de-açúcar, totalizando 24 mudas.

O inoculante comercial líquido utilizado foi o Acta Azos® (Acta Bio Ltda., Jaboticabal, SP), o qual contém as estirpes Ab-V₅ e Ab-V₆ de *Azospirillum brasilense* na concentração mínima de 2,0 x 10⁹ células viáveis por mL. O bioestimulante utilizado foi o Stimulate® (Stoller do Brasil Ltda., Campinas, SP), composto por três reguladores vegetais: 90 mg L⁻¹ de cinetina (CK), 50 mg L⁻¹ de ácido giberélico (GA) e 50 mg L⁻¹ de ácido 4-indol-3-ilbutírico indolbutírico (AX).

Os minirrebolos (segmentos de colmos com gemas individualizadas) utilizados para a produção de MPB foram extraídos de colmos-semente provenientes de uma lavoura comercial localizada no município de Cassilândia cultivada com a variedade de cana-de-açúcar IACSP95-5000. Após a coleta dos colmos, os minirrebolos foram seccionados em 3,0 cm de comprimento (Figura 1a) como recomendado por Xavier et al. (2022).



Figura 1. Corte dos minirrebolos com 3,0cm de comprimento, utilizando um arco de serra e uma régua (a). Plantio dos minirrebolos em caixas plásticas preenchidas com substrato comercial Carolina Soil® (b). UEMS/Cassilândia.

Os minirrebolos foram plantados com 2,0 cm de profundidade com as gemas voltadas para cima em caixas plásticas (53 × 32 × 7,5 cm), preenchidas com substrato comercial (Carolina Soil®) (Figura 1b) com as seguintes características: pH 5,6; 0,85 g dm⁻³ de N; 0,18 g dm⁻³ de P, 0,25 g dm⁻³ de K; 1,24 g dm⁻³ de Ca; 0,72 g dm⁻³ de Mg; 0,30 g dm⁻³ de S; 0,70 dS m⁻¹ de condutividade elétrica (CE); 76% de porosidade total e 55% de capacidade de retenção de água.

As caixas plásticas foram mantidas em condições de laboratório por um período de 35 dias e as irrigações foram realizadas diariamente, manualmente para garantir a brotação e o desenvolvimento inicial das mudas de cana-de-açúcar. Aos 35 dias após o plantio da cana-de-açúcar, as mudas foram retiradas das caixas plásticas de brotação, e as raízes lavadas em água corrente sobre peneiras com malha de 1 mm, para remoção do substrato (Figura 2a).

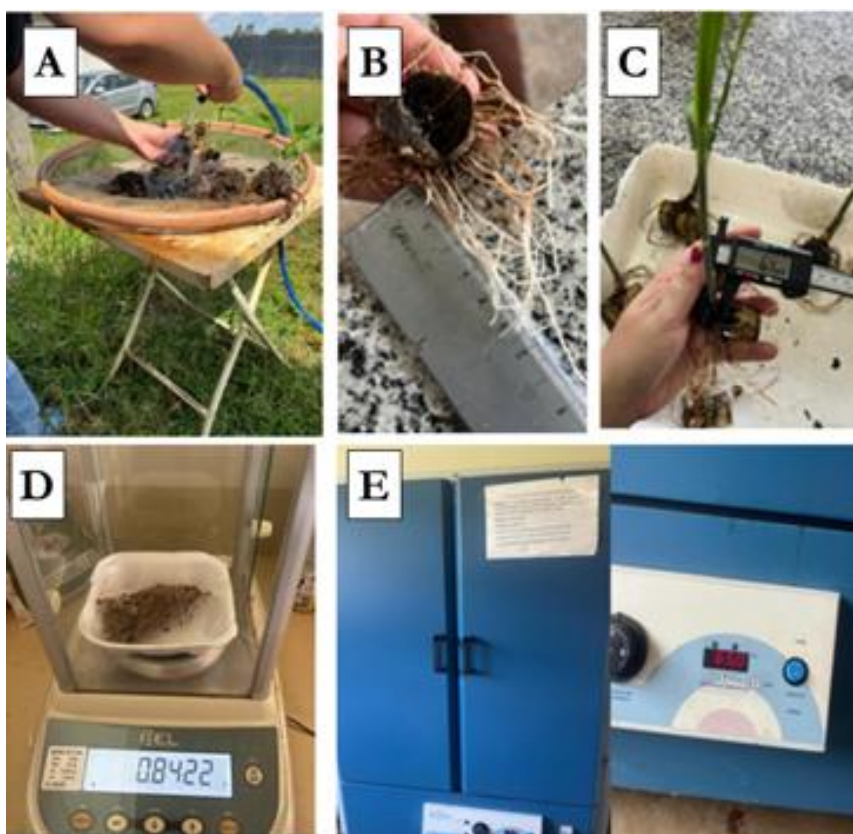


Figura 2. Lavagem das raízes em água corrente para a remoção do substrato aderido ao sistema radicular (a). Determinação do comprimento das raízes mais longas com auxílio de uma régua graduada (b). Determinação do diâmetro do colmo das mudas de cana-de-açúcar utilizando um paquímetro digital (c). Determinação da produção de matéria seca da parte aérea e das raízes em balança analítica digital (d). Secagem do material vegetal (parte aérea e raízes) em estufa de circulação forçada de ar, regulada para 65 °C (e). UEMS/Cassilândia.

Em seguida, foram mensuradas as seguintes características morfológicas das plantas: altura da parte aérea (AP), diâmetro do colmo (DC), número de folhas (NF), comprimento das raízes (CR), seca da parte aérea (MSPA) e matéria seca das raízes (MSR).

A altura da parte aérea, em centímetros, foi determinada a partir do nível do substrato até a inserção da última folha com o auxílio de régua graduada em milímetros. O comprimento das raízes, em centímetros, foi mensurado a partir da região do coleto até o ápice das raízes mais longas das plantas com auxílio de uma régua graduada em milímetros (Figura 2b). O diâmetro do colmo, em milímetros, foi mensurado na parte central do primeiro entrenó da planta utilizando um paquímetro digital (Figura 2c) com precisão de $\pm 0,01$ mm. As determinações da massa de matéria seca da parte aérea (folhas + colmos) e das raízes foram efetuadas a partir da pesagem em balança analítica (Figura 2d) do material seco em estufa de circulação de ar forçada, regulada para 65 °C (Figura 2e) por 72 horas, e os resultados expressos em g/planta. A matéria seca da parte aérea (MSPA) foi obtida pela soma da massa seca das folhas com a massa seca do colmo, e a matéria seca total (MST) foi obtida pela soma de todas as partes da planta (folhas, colmo e raízes).

Os dados foram submetidos à análise de variância e os efeitos comparados pelo teste F ($p = 0,05$) e quando houve diferenças as médias foram comparados pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. As análises foram realizadas utilizando-se o software estatístico RBio (Bhering, 2017). Análise de correlação de Pearson foram realizados, sendo avaliadas as correlações pelo teste t e construído uma rede de correlação. Os gráficos foram elaborados por meio do pacote estatístico do Microsoft Office Excel® 2024 (Microsoft Office 365™).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O tratamento dos minirrebolos com Stimulate® e *A. brasilense* de forma isolada ou combinada influenciou significativamente ($p < 0,05$) a altura da parte aérea das plantas (Figura 3a) de cana-de-açúcar. A altura da parte aérea das plantas variou de 12,6 a 16,2 cm, e foi significativamente superior nas plantas submetidas ao tratamento do minirrebolo com Stimulate® e/ou *A. brasilense*. Estes resultados evidenciam que a utilização de bioestimulante e de bactérias promotoras do crescimento vegetal de forma isolada ou em combinação melhorou o crescimento da parte aérea das mudas prébrotadas de cana-de-açúcar.

Resultados semelhantes foram reportados por Gonçalves et al. (2020), verificando que a inoculação de bactérias promotoras do crescimento vegetal associada à adubação nitrogenada resultou no incremento da altura das plantas de cana-de-açúcar. De modo similar, Scudeletti et al., (2023) verificaram que a aplicação de *A. brasilense* proporcionou maior altura e biomassa das plantas de cana-de-açúcar. Viana et al. (2020) reportaram que a aplicação de *A. brasilense* resultou em alterações positivas no crescimento da parte aérea das plantas de cana-de-açúcar. No entanto, Teixeira et al. (2025) constataram que as respostas da cana-de-açúcar à aplicação de *A. brasilense* são dependentes das condições edafoclimáticas e do manejo nutricional.

O tratamento dos minirrebolos com Stimulate® e *A. brasilense* de forma isolada ou combinada influenciou significativamente ($p < 0,05$) o diâmetro do colmo (Figura 3b) das plantas de cana-de-açúcar. O diâmetro médio dos colmos variou de 6,3 a 7,3 mm, e foi significativamente superior nas plantas

submetidas ao tratamento do minirrebolo com *A. brasilense* de forma isolada ou em combinação com Stimulate®. De acordo com Gírio et al. (2015) o maior diâmetro de colmo das plantas de cana-de-açúcar foi obtido nas mudas inoculadas com bactérias promotoras do crescimento vegetal. De acordo com Gonçalves et al. (2020), o maior diâmetro do colmo é fator desejável devido à relação direta desta característica morfológica com o acúmulo de fotoassimilados e de açúcares nos colmos.

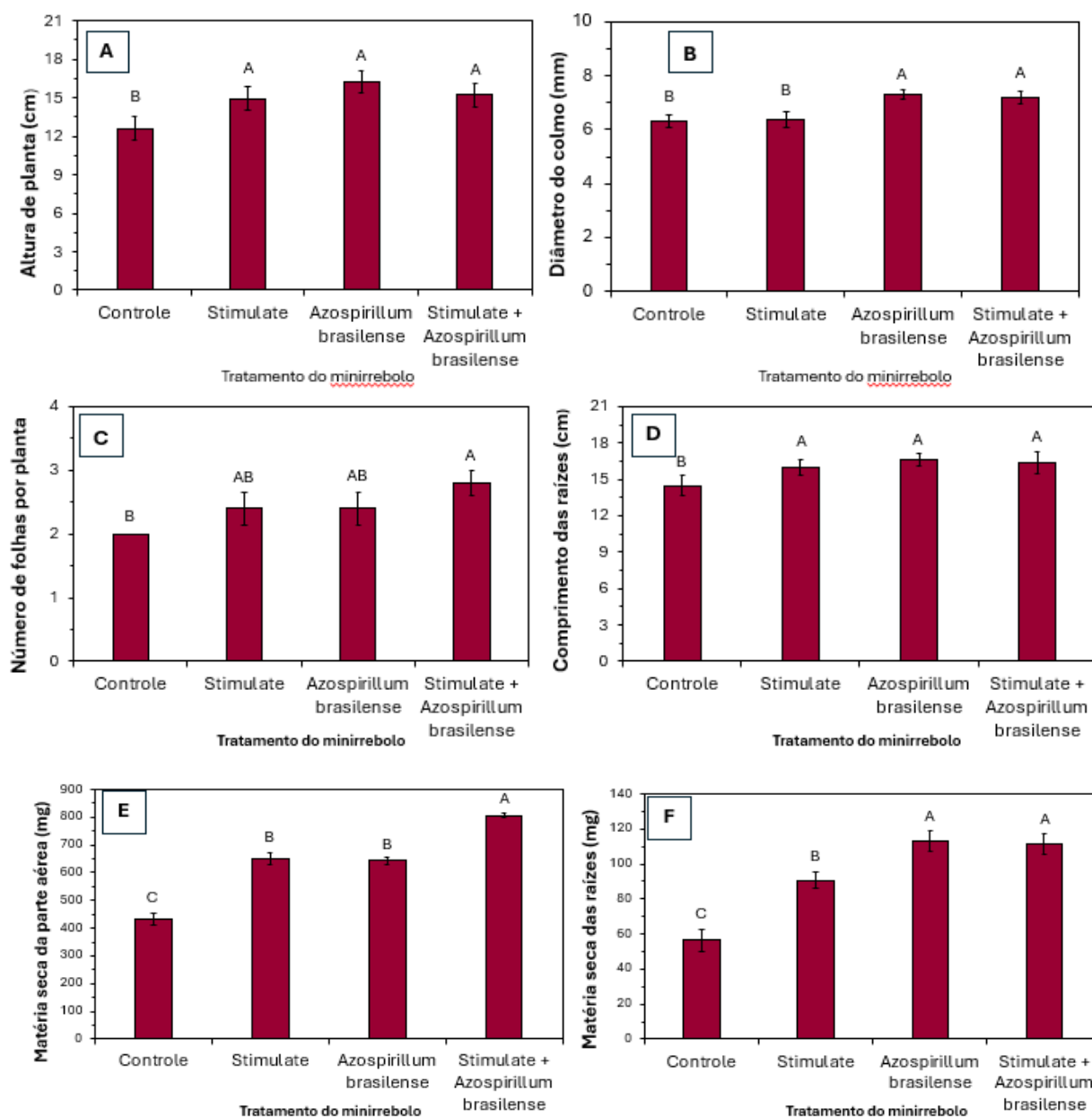


Figura 3. Efeito do tratamento dos minirrebolos de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) por imersão em solução contendo bioestimulante à base de hormônios vegetais (Stimulate®) e/ou bactéria promotora de crescimento vegetal (*Azospirillum brasilense*) na altura da parte aérea das mudas pré-brotadas (MPB) (a), diâmetro do colmo (b), número de folhas (c), comprimento das raízes (d), produção de matéria seca da parte aérea (e) e produção de matéria seca das raízes (f). T1: controle (minirrebolo não tratado); T2: minirrebolo tratado com solução contendo 5 ml L⁻¹ de Stimulate®; T3: minirrebolo tratado com solução contendo 50 ml L⁻¹ de *A. brasilense*; e, T4: minirrebolo tratado com a combinação de 5 ml L⁻¹ de Stimulate® e 50 ml L⁻¹ de *A. brasilense*. Letras diferentes nas barras significa diferenças significativas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. UEMS/Cassilândia.

De acordo com Brusamarello-Santos et al., (2022) *A. brasilense* influenciou especificamente no diâmetro do colmo pois estão relacionados à sua capacidade de produzir auxinas endógenas, especialmente o ácido indol-3-acético (AIA) atuando na expansão e diferenciação celular dos tecidos vasculares. Estudos realizados por Fukami et al., (2018) afirmam que além da fixação biológica de nitrogênio, *A. brasilense* libera fitohormônios que modulam a expressão de genes relacionados ao crescimento celular e à divisão do câmbio vascular, resultando em colmos mais espessos e com maior capacidade de armazenamento de carboidratos. A inoculação com *A. brasilense* em cana-de-açúcar promoveu aumento na atividade das enzimas que são responsáveis pela conversão de sacarose em hexoses, favorecendo o acúmulo de açúcares nos entrenós (Reis et al., 2021). A maior disponibilidade de nitrogênio proporcionada pela fixação biológica também contribui para a síntese de proteínas estruturais e enzimas fotossintéticas, intensificando a produção de fotoassimilados que são direcionados ao engrossamento do colmo (Scudeletti et al., 2023).

O número de folhas dos minirrebolos de cana-de-açúcar (Figura 3c) tratados com Stimulate® e *A. brasilense* de forma isolada ou combinada influenciou significativamente ($p < 0,05$) os resultados, variando 2,0 a 2,8 folhas por planta. A aplicação combinada de Stimulate® e *A. brasilense* foi superior e significativamente menor nas plantas controle sem aplicação de bioestimulante ou bactérias promotoras de crescimento vegetal. Resultados semelhantes foram reportados por Gonçalves et al. (2020), os quais verificaram que a aplicação de bactérias promotoras do crescimento vegetal associada à adubação nitrogenada resultou no incremento do número de folhas e de perfilhos das plantas de cana-de-açúcar. Estes resultados comprovam o efeito fisiológico das bactérias *A. brasilense* na melhoria do crescimento das plantas. De acordo com Viana et al. (2020), o inoculante contendo *A. brasilense* possui bactérias com capacidade de sintetizar hormônios vegetais, tais como auxinas, giberelinas e citocininas, que são capazes de promover o crescimento das plantas.

O efeito sinérgico observado na aplicação combinada de Stimulate® e *A. brasilense* (T4) sobre o número de folhas e matéria seca da parte aérea ocorreu devido aos mecanismos de ação de ambos os produtos. O Stimulate® contém uma formulação balanceada de reguladores vegetais (90 mg L⁻¹ de cinetina, 50 mg L⁻¹ de ácido giberélico e 50 mg L⁻¹ de ácido indolbutírico) que atua de forma coordenada: as citocininas promovem a divisão celular e retardam a senescência foliar, as giberelinas estimulam o alongamento celular e expansão foliar, enquanto as auxinas sintéticas regulam o desenvolvimento apical (Castro; Vieira, 2021). Quando combinados com *A. brasilense*, que naturalmente produz auxinas (AIA) e citocininas em quantidades variáveis (Cassán et al., 2020), ocorre uma modulação hormonal mais complexa e eficiente.

De acordo com Galindo et al. (2022), a proporção de liberação desses hormônios é de importância para o estabelecimento da parte aérea: as auxinas bacterianas, produzidas continuamente pela bactéria associada às raízes, complementam as auxinas exógenas do bioestimulante, formando um hormônio que favorece o desenvolvimento radicular e o transporte de nutrientes para a parte aérea. As

citocininas do Stimulate® potencializam a emissão de novos primórdios foliares, enquanto as produzidas por *A. brasilense* são transportadas via xilema, estimulando a expansão das folhas já existentes (Viana et al., 2020). Essa ação resulta em maior número de folhas e em folhas mais desenvolvidas e fotossinteticamente ativas de acordo com o incremento na MSPA no tratamento combinado (T4).

Além disso, Santos et al., (2021) reportaram que a inoculação com *A. brasilense* melhora a eficiência de absorção de macronutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo, essenciais para a síntese de clorofila e compostos estruturais. A combinação com o bioestimulante potencializa essa absorção ao promover maior ramificação radicular e maior atividade metabólica das células do córtex radicular, criando um sistema radicular mais eficiente sustentando o crescimento vigoroso da parte aérea.

Independente do tratamento dos minirrebolos de forma isolada ou combinada houve diferenças significativas ($p < 0,05$) no comprimento das raízes em relação ao controle (Figura 3d). O comprimento das raízes variou de 14,5 a 16,6 cm. Estes resultados evidenciam que a utilização de bioestimulante e de bactérias promotoras do crescimento vegetal de forma isolada ou em combinação melhora o crescimento das raízes das mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar. Santos et al. (2018) também verificaram que a utilização do *A. brasilense* resultou no aumento do comprimento das raízes das plantas de cana-de-açúcar. Gírio et al. (2015), verificaram que a utilização de bactérias promotoras de crescimento proporcionou incremento no desenvolvimento inicial das raízes, sendo capazes de produzir hormônios vegetais que possuem capacidade de promover o crescimento e alterações na arquitetura do sistema radicular das plantas, o que promove maior absorção de água e de nutrientes.

A produção de matéria seca da parte aérea das plantas de cana-de-açúcar (Figura 3f), evidenciou uma variação de 432 a 806mg, verificando o resultado superior no tratamento com associação entre o Stimulate® e *A. brasilense* ($p < 0,05$), e significativamente menor nas plantas sem aplicação de bioestimulante ou bactérias promotoras de crescimento vegetal. Resultados semelhantes foram reportados em estudos recentes com o uso de bactérias promotoras do crescimento vegetal, como o *A. brasilense* empregada como alternativa para otimizar o manejo nutricional da cana-de-açúcar, inclusive em associação com a redução da adubação nitrogenada (Gírio et al, 2015). Trabalho conduzido em condições de campo com cana-de-açúcar, a aplicação de *A. brasilense* resultou em aumento da produção de matéria seca total da parte aérea das plantas (Teixeira, 2025). Essa resposta positiva na produção de massa seca da parte aérea foi observada também em plantas de trigo, demonstrando o potencial da inoculação associada ao nitrogênio para mitigar o estresse hídrico (Freitas, 2025).

A produção de matéria seca das raízes (Figura 3f) revelou uma maior diferença estatística entre os tratamentos ($p < 0,05$) aplicados a minirebolos de cana-de-açúcar, com valores que variaram de 56 a 113 mg por planta, e destaque para os tratamentos com *A. brasilense* de forma isolada ou em combinação com Stimulate®. O incremento na produção de matéria seca das raízes em plantas inoculadas com *A. brasilense* pode ser explicado pelo efeito fisiológico dessa bactéria no balanço hormonal das plantas. O gênero *Azospirillum* é reconhecido por produzir substâncias promotoras de crescimento (Lino, 2020),

possuindo a capacidade de melhorar o desenvolvimento do sistema radicular por meio da síntese de fitormônios, como auxina e citocinina (Souza et al., 2020). A produção de ácido indol-acético (AIA – principal auxina) pelo *A. brasilense* e a consequente estimulação do crescimento radicular são mecanismos bem estabelecidos que levam a uma maior superfície de absorção das raízes (El-Khawas & Adachi, 2021). A aplicação combinada de *A. brasilense* e nitrogênio também demonstrou ter um efeito benéfico no desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar (Fernandes et al., 2020).

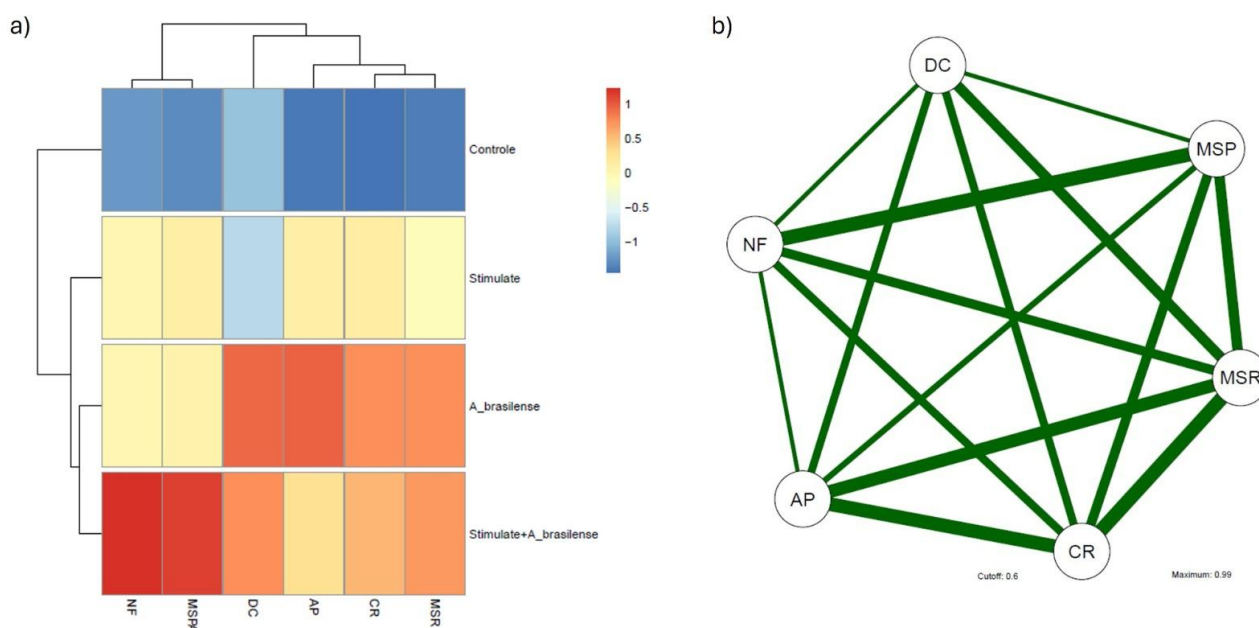


Figura 4. Mapa de calor (a) e rede de correlações (b) obtidos ao comparar tratamentos (Controle, Stimulate, A. Brasilense e a combinação de Stimulate + A. Brasilense) e parâmetros morfológicos e fisiológicos medidos em minirrebolos de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). Altura da parte aérea das mudas pré-brotadas (AP), diâmetro do colmo (DC), número de folhas (NF), comprimento das raízes (CR), produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) e produção de matéria seca das raízes (MSR). As colorações indicam a magnitude dos valores padronizados (z-score), variando de azul a vermelho. A espessura das linhas em (b) representa a força da correlação positiva, com o limiar (cutoff) de 0,6.

Ao considerar o agrupamento mostrado na Figura 4a, observa-se que quando avaliado os tratamentos aplicados ocorre a formação de dois grupos, um com o Controle isolado e um outro grupo com os restantes dos tratamentos. A diferenciação do controle do resto dos tratamentos mostra a superioridade dos tratamentos isolados ou combinados empregados no experimento, que permitem um maior desenvolvimento dos minirrebolos de cana-de-açúcar nas condições testadas. *A. Brasilense* e Stimulate + *A. brasilense*, demonstram um aumento acentuado na maioria dos parâmetros, com uma forte predominância de cores vermelhas e laranjas. Isso indica que a aplicação de *A. brasilense*, especialmente em combinação com o Stimulate, induziu os maiores valores medidos, em particular para AP, CR E MSR (Figura 4a).

Quando observado o agrupamento entre as variáveis medidas, a análise de agrupamento hierárquico mostra dois grupos. Um é formado por AP (altura da parte aérea), CR (comprimento da raiz),

DC (diâmetro do caule) e MSR (massa seca da raiz), variáveis que estão fortemente correlacionadas e, como consequência, agrupadas no mesmo grupo. O segundo grupo é formado pelas variáveis NF (número de folhas) e MSPA (massa seca da parte aérea), que se destacam principalmente no tratamento que tem a combinação de Stimulate® + *A. Brasilense*, ao mesmo tempo que se diferenciam das outras variáveis (figura 4a). Essa sinergia entre o bioestimulante e a bactéria promotora de crescimento (*A. Brasilense*) é um padrão frequentemente relatado, sendo que o uso de *A. Brasilense* é reconhecido por sua eficácia na promoção do desenvolvimento radicular (CR, MSR) devido à produção de hormônios como o AIA (Gonçalves et al., 2020; Viana et al., 2020). Por sua vez, a aplicação do bioestimulante complementa essa ação, impulsionando simultaneamente variáveis da parte aérea como NF e MSPA. O gráfico do agrupamento mostra como podemos associar os tratamentos às variáveis medidas e como, dessa associação, podemos identificar os tratamentos que melhor contribuem no desempenho dos minirrebolos de cana-de-açúcar, validando que a inoculação se consolida como uma estratégia para otimizar a produção inicial de biomassa (Schultz et al., 2019; Scudeletti et al., 2023).

Na rede de correlações (Figura 4b), todas as variáveis medidas apresentaram correlações positivas, indicando uma relação de crescimento direto entre elas. As maiores correlações foram observadas entre NF x MSPA ($r = 0,99$; $p < 0,001$), AP x MSR ($r = 0,96$; $p < 0,05$), AP x CR ($r = 0,98$; $p < 0,05$) e MSR x CR ($r = 0,99$; $p < 0,01$). As correlações de menor magnitude foram AP x NF, r de 0,70 e não significativa pelo teste t . Estes resultados confirmam que alta correlação entre NF e MSPA é um indicador da eficiência fotossintética e do acúmulo de biomassa da parte aérea. Além disso, as relações intensas entre as variáveis de crescimento aéreo (AP) e de raiz (MSR e CR) demonstram interdependência e equilíbrio fisiológico promovido, um efeito associado à ação de bioestimulantes e bactérias promotoras de crescimento, como reportado por Viana et al. (2020) e Teixeira et al. (2025).

CONCLUSÕES

O tratamento de minirrebolos por imersão com *Azospirillum brasilense*, isolado ou em combinação com Stimulate®, constitui uma excelente estratégia para elevar a qualidade das mudas pré-brotadas. Esta abordagem otimiza o desenvolvimento das plantas, promovendo ganhos em altura, diâmetro do colmo, comprimento radicular e na matéria seca das raízes, assegurando o vigor inicial necessário para a cultura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bhering, L. L. (2017). Rbio: A tool for biometric and statistical analysis using the R platform. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 17(2), 187-190. <https://doi.org/10.1590/1984-70332017v17n2s29>
- Brusamarello-Santos, L. C., Alberton, D., Valdameri, G., Camilios-Neto, D., Covre, R., Lopes, K. P., Tadra-Sfeir, M. Z., Faoro, H., Souza, E. M., Pedrosa, F. O., & Monteiro, R. A. (2022). Modulation

- of auxin signaling by *Azospirillum brasilense* in maize roots. *Plant and Soil*, 470(1-2), 341-357. <https://doi.org/10.1007/s11104-021-05229-9>
- Bulgari, R., Franzoni, G., & Ferrante, A. (2019). Biostimulants application in horticultural crops under abiotic stress conditions. *Agronomy*, 9(6), 306. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060306>
- Cassán, F., Coniglio, A., López, G., Molina, R., Nievas, S., De Carlan, C. L. N., Donadio, F., Torres, D., Rosas, S., Pedrosa, F. O., De Souza, E. M., Zorita, M. D., & Luna, M. F. (2020). Everything you must know about *Azospirillum* and its impact on agriculture and beyond. *Biology and Fertility of Soils*, 56, 461-479. <https://doi.org/10.1007/s00374-020-01463-y>
- Castro, P. R. C., & Vieira, E. L. (2021). Aplicações de reguladores vegetais na agricultura tropical (4ª ed.). Editora Guaíba Agropecuária.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento (2024). Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar, 11(2).
- Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196, 3-14. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
- El-Khawas, H., & Adachi, K. (2021). Efeito da inoculação de *Azospirillum* e *Herbaspirillum* na produção de compostos indólicos em plântulas de milho e arroz. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 56, e02206. <https://www.scielo.br/j/pab/a/Qy5cVKJT7J84b8BQH6XxF8j/>
- Fernandes, P. B., et al. (2020). Nitrogênio e *Azospirillum brasilense* no desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar. *Colloquium Agrariae*, 16(2), 72–81. <https://doi.org/10.5747/ca.2020.v16.n2.a3152>
- Freitas, M. (2025). Inoculação de *Azospirillum brasiliense* e performance de plantas de trigo crescidas sem e com restrição de água [Monografia de Especialização em Agronomia não publicada]. Universidade Estadual de Ponta Grossa. <https://ri.uepg.br/monografias/handle/123456789/398>
- Fukami, J., Cerezini, P., & Hungria, M. (2018). *Azospirillum*: benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. *AMB Express*, 8, 73. <https://doi.org/10.1186/s13568-018-0608-1>
- Galindo, F. S., Pagliari, P. H., Fernandes, G. C., Rodrigues, W. L., Boleta, E. H. M., Jalal, A., Céu, E. G. O., Lima, B. H., Lavres, J., & Teixeira Filho, M. C. M. (2022). Improving sustainable field-grown wheat production with *Azospirillum brasilense* under tropical conditions: a potential tool for improving nitrogen management. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 821628. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.821628>
- Gírio, L. A. S., Dias, F. L. F., Reis, V. M., Urquiaga, S., Schultz, N., Bolonhezi, D., & Mutton, M. A. (2015). Bactérias promotoras de crescimento e adubação nitrogenada no crescimento inicial de cana-de-açúcar proveniente de mudas pré-brotadas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 50(1), 33-43. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000100004>
- Gonçalves, D. F., Lima, L. K. S., Eckstein, B., Pasqualli, R. M., Da Silva, J. A. G., & Fagundes, P. R. R. (2021). Inoculation of plant growth-promoting bacteria in eucalyptus. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 51, e67353. <https://doi.org/10.1590/1983-40632021v5167353>

- Gonçalves, M. C., Silva, K. C., Oliveira, C. E. S., & Steiner, F. (2020). Nitrogênio e *Azospirillum brasilense* no desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar. *Colloquium Agrariae*, 16(2), 72-81. <https://doi.org/10.5747/ca.2020.v16.n2.a352>
- Lino, A. C. M. (2020). Inoculação de bactérias diazotróficas em cana-de-açúcar. *Revista da Sociedade Brasileira de Agronomia*, 1(1), 25-32. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstreams/ecf4e29c-adc6-429c-bc7a-14c0f7d3047a/download>. Acesso em: 14 nov. 2025.
- Oliveira, J. P., Xavier, M. A., & Santos, D. M. M. (2021). Doses of *Azospirillum brasilense* in pre-sprouted sugarcane seedlings. *Revista Caatinga*, 34(2), 250-258. <https://doi.org/10.1590/1983-21252021v34n201rc>
- Pedrosa, F. O., Monteiro, R. A., Wassem, R., Cruz, L. M., Ayub, R. A., Colauto, N. B., Fernandez, M. A., Fungaro, M. H. P., Grisard, E. C., Hungria, M., Madeira, H. M. F., Nodari, R. O., Osaku, C. A., Petzl-Erler, M. L., Terenzi, H., Vieira, L. G. E., Steffens, M. B. R., Weiss, B., Pereira, L. F. P., Almeida, M. I. M., Alves, L. R., Marin, A., Araujo, L. M., Balsanelli, E., Baura, V. A., Chubatsu, L. S., Faoro, H., Favetti, A., Friedermann, G., Glienke, C., Karp, S., Kava-Cordeiro, V., Gandra, R. F., Krieger, N., Lange, D., Lemos, E. G. M., Martins, E. C., Raittz, R. T., De Souza, E. M., Tadra-Sfeir, M. Z., Torres, R. A., Dabul. (2020). Toward a sustainable agriculture through plant biostimulants: from experimental data to practical applications. *Agronomy*, 10(10), 1461. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101461>
- Reis, V. M., Alves, B. J. R., Hartmann, A., & Zilli, J. E. (2021). Beneficial interactions between plants and diazotrophic bacteria. In N. K. Arora, S. Mishra, & V. Kumar (Eds.), *Microbiome in plant health and disease* (pp. 455-476). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-3151-4_19
- Rouphael, Y., & Colla, G. (2020). Toward a sustainable agriculture through plant biostimulants: From experimental data to practical applications. *Agronomy*, 10(10), 1461. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101461>.
- Santos, F., Queiroz, J., Colodette, J., Manfredi, M., Queiroz, M., Caldas, C., & Soares, F. (2012). Potential of sugarcane straw for ethanol production. *Química Nova*, 35(5), 1004-1010. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422012000500025>
- Santos, J. A., Oliveira, R. P., Sousa, J. S., Schultz, N., Morais, R. F., Boddey, R. M., Reis, V. M., & Urquiaga, S. (2018). Rooting and growth of pre-germinated sugarcane seedlings inoculated with diazotrophic bacteria. *Applied Soil Ecology*, 133, 12-23. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.08.015>
- Santos, M. S., Nogueira, M. A., & Hungria, M. (2021). Microbial inoculants: reviewing the past, discussing the present and previewing an outstanding future for the use of beneficial bacteria in agriculture. *AMB Express*, 11, 205. <https://doi.org/10.1186/s13568-021-01311-x>

- Schultz, N., Silva, J. A., Sousa, J. S., Monteiro, R. C., Olivares, F. L., & Baldani, J. I. (2019). Inoculation of sugarcane with diazotrophic bacteria. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 43, e0180122. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcS20180122>
- Scudeletti, D., Crucioli, C. A. C., Momesso, M., Bossolani, J. W., Moretti, L. G., Oliveira, E. F., Tubaña, B. F., Silva, M. O., Castro, S. G. Q., & Hungria, M. (2023). Inoculation with *Azospirillum brasilense* as a strategy to enhance sugarcane biomass production and bioenergy potential. *European Journal of Agronomy*, 144, 126749. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2023.126749>
- Sharma, A., Kumar, V., Shahzad, B., Ramakrishnan, M., Sidhu, G. P. S., Bali, A. S., Handa, N., Kapoor, D., Yadav, P., Khanna, K., Bakshi, P., Rehman, A., Kohli, S. K., Khan, E. A., Parihar, R. D., Yuan, H., Thukral, A. K., Bhardwaj, R., & Zheng, B. (2022). Photosynthetic response of plants under different abiotic stresses: a review. *Journal of Plant Growth Regulation*, 41, 509-532. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10286-z>
- Silva, M. A., Xavier, M. A., Santos, D. M. M., Landell, M. G. A., & Mendonça, J. R. (2020). MPB (Muda Pré-Brotada) technology for sugarcane propagation in Brazil. *Sugar Tech*, 22(3), 460-466. <https://doi.org/10.1007/s12355-019-00787-7>
- Souza, A. L. V. G. et al. Respostas da soja ao *Azospirillum brasilense* e reguladores vegetais em condições de déficit hídrico. ResearchGate, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/338275729_Respostas_da_soja_ao_Azospirillum_brasilense_e_reguladores_vegetais_em_condicoes_de_deficit_hidrico. Acesso em: 14 nov. 2025.
- Teixeira, L. dos S. (2025). Aplicação de *Azospirillum brasilense* nos parâmetros produtivos da cana-de-açúcar. 2025. 33 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônoma) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Dracena, 2025.
- Van Oosten, M. J., Pepe, O., De Pascale, S., Silletti, S., & Maggio, A. (2017). The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 4, 5. <https://doi.org/10.1186/s40538-017-0089-5>
- Viana, R. S., Moreira, B. R. A., Lisboa, L. A. M., Junior, R. S., Nogueira, T. A. R., Figueiredo, P. A. M., Teixeira Filho, M. C. M., & Ramos, S. B. (2020). Morphological changes in sugarcane crop induced by the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum brasilense*. *Sugar Tech*, 22(6), 1060-1067. <https://doi.org/10.1007/s12355-019-00773-2>
- Xavier, M. A., Landell, M. G. A., Anjos, I. A., Dinardo-Miranda, L. L., Santos, A. C., & Camargo, A. P. (2022). Pre-sprouted seedlings production system in sugarcane. In *Advances in Sugarcane Biorefinery* (pp. 179-199). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814236-3.00009-6>
- Yakhin, O. I., Lubyantsev, A. A., Yakhin, I. A., & Brown, P. H. (2017). Biostimulants in plant science: a global perspective. *Frontiers in Plant Science*, 7, 2049. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049>

Capítulo 6

Efeito da aplicação de diferentes doses de níquel e nitrogênio no desempenho do gergelim (*Sesamum indicum* L.)

Recebido em: 14/12/2025

Aceito em: 16/12/2025

 10.46420/9786585756709cap6

Italo Ferreira Vetrue 

Gabriela Rodrigues Sant'Ana 

Joaquim Tenório Neto 

Lorena Vitória Alves Andrade 

Carlos Eduardo da Silva Oliveira 

Jorge González Aguilera 

INTRODUÇÃO

O gergelim (*Sesamum indicum* L.) é uma planta originária da África e do subcontinente indiano. Cultura de ciclo anual, foi domesticada há mais de 5.000 anos e trata-se de uma das oleaginosas mais antigas conhecidas, sendo amplamente cultivada devido ao seu valor nutricional e econômico de suas sementes (Wei et al., 2022). Atualmente, apesar de sua ampla distribuição global, a cultura do gergelim ainda enfrenta diversos desafios, incluindo a instabilidade nos rendimentos, e elevada suscetibilidade a estresses bióticos e abióticos (Kefale; Wang 2022; Qureshi et al., 2022).

O níquel (Ni) é um micronutriente indispensável para o desenvolvimento vegetal, desempenhando função cofator em enzimas essenciais para os processos metabólicos críticos, tais como a fixação biológica de nitrogênio (Lima et al., 2024). Além disso, está envolvido no sistema antioxidante vegetal e na resposta da planta ao estresse (Fabiano et al., 2015). Considerando o papel do Ni na ativação de enzimas antioxidantes e no metabolismo do nitrogênio, é plausível inferir que sua presença adequada possa contribuir para a saúde e produtividade do gergelim, especialmente em ambientes sujeitos a estresses ambientais.

Nos estudos de Franco (2015), demonstrou-se que a aplicação de níquel pode aumentar a atividade da urease e da nitrogenase, resultando em maior produção de biomassa e grãos. Entretanto, altas concentrações de Ni no solo, especialmente na zona radicular, podem retardar o crescimento das plantas, o que pode resultar na redução da biomassa e da produtividade (Naveed et al., 2020). Além disso, a mobilidade do Ni no solo e sua disponibilidade para as plantas são influenciadas por práticas agrícolas (Naik et al., 2010).

Os sintomas de toxidez de Ni não estão bem definidos para os estágios iniciais de toxicidade na planta, porém nos estágios moderados e agudos, a toxidez produz clorose, geralmente semelhante aos sintomas de deficiência de Fe (Berton et al., 2006). O Ni pode expressar seu potencial poluente diretamente nos organismos do solo, pela disponibilidade às plantas em níveis fitotóxicos, além da possibilidade de transferência para a cadeia alimentar através das próprias plantas ou pela contaminação das águas de superfície e subsuperfície (Revoredo; Melo, 2006).

Sendo assim, é plausível inferir que a função do níquel no gergelim, como em outras oleaginosas, desempenha papel significativo no metabolismo do nitrogênio e na defesa contra estresses, influenciando positivamente o crescimento e a produtividade da cultura. Portanto, compreender a função do níquel no metabolismo do gergelim é essencial para otimizar práticas de manejo nutricional e melhorar o desempenho agrônômico dessa cultura.

MATERIAL E MÉTODOS

O projeto foi desenvolvido nas instalações da Fazenda Experimental da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, localizada na Unidade de Cassilândia, cujas coordenadas geográficas são (19°05'46" S e 51°48'50" O), a uma altitude de 521 metros acima do nível do mar. Segundo a classificação climática de Köppen, a região apresenta clima tropical chuvoso (Aw), com média anual de precipitação de 1.520 mm e temperatura média de 24,1 °C. O solo é classificado como Neossolo Quartzarênico (Embrapa, 2018).

Tabela 1. Análise química do solo empregado no experimento.

P-resina* (mg dm ³)	MO (mg dm ³)	pH	K (mmolc dm ³)	Ca (mmolc dm ³)	Mg (mmolc dm ³)	H+Al (mmolc dm ³)	Al (mmolc dm ³)	SB (mmolc dm ³)	S-SO₄ (mg dm ³)
5	9	5	1,2	10	6	6	2	17,2	9
CTC (mmolc dm ³)	V (%)	Ca-CTC (%)	Mg-CTC (%)	m (%)	B (mg dm ³)	Cu (mg dm ³)	Fe (mg dm ³)	Mn (mg dm ³)	Zn (mg dm ³)
33,2	52	30	18	10	0,08	0,5	16	1.0	0,2

*P-resina: Fosforo, MO: Matéria Orgânica, pH: ph em CaCl₂, K: Potássio, Ca: Cálcio, Mg: Magnésio, H+Al: Acidez Potencial, Al: Alumínio, SB: Soma Bases, S-SO₄: Enxofre, CTC: Capacidade de Troca Catiônica, V: Saturação de Bases, Ca-CTC: Ca na CTC, Mg-CTC: Mg na CTC, m: Saturação de Alumínio, B: Boro; Cu: Cobre, Fe: Ferro, Mn: Manganês, Zn: Zinco.

O experimento foi realizado em casa de vegetação com 32% de sombreamento sob bancada de cultivo em vasos de 5 dm³ preenchidos com solo do tipo (Neossolo Quartzarênico) com três plantas em cada vaso, o delineamento experimental foi em blocos casualizados com três repetições em esquema fatorial 5x3, apresentando 45 unidades experimentais. O primeiro fator foi a combinação entre diferentes de Sulfato de Níquel (NiSO₄·6H₂O) com concentração de 19% de níquel, no qual as doses foram distribuídas em 0 mg de Ni (controle) e 1, 2, 4 e 6 mg de Ni por vaso. O segundo fator foi a aplicação de

nitrogênio em cobertura aos 30 dias após a emergência, a fonte de N foi a ureia fornecendo 45% de N. Sendo as doses de 0% (sem aplicação), 50% (160 mg de N dm⁻³ de solo) e 100% (320 mg de N dm⁻³ de solo).

Foi realizada amostragem de solo e com base nos resultados da análise química (Tabela 1), realizou-se a adução de semente de acordo a recomendação. A adubação de semente utilizou-se 6,5g de 4-14-8 (fornecendo 40 mg de N, 140 de P e 80 de K) e no florescimento foi realizado a aplica foliar 0,17 g/L de boro.

A semente do gergelim foi realizada na profundidade de 2 cm e após a emergência foi realizado o desbaste deixando apenas três plantas por vaso. Os tratos culturais foram realizados de acordo com a necessidade, visando o controle de pragas e doenças da cultura. O experimento foi conduzido por 60 dias após a emergência das plantas no qual foi realizado avaliações de: número de folhas, altura de plantas (cm), teor relativo de clorofila, comprimento de raiz (cm), número de capsulas (unidade), massa seca de capsulas (g), massa seca de grão (g), massa seca da parte aérea (g) e massa seca da raiz (g).

Para a quantificação de número de folhas e número de capsulas foi realizado a partir de contagem. Os valores de altura de plantas e comprimento de raiz foram quantificados com o auxílio de régua graduada. O teor relativo de clorofila foi quantificado utilizando medidor portátil, opti-sciences CCM-200, que permitiu efetuar leituras imediatas. A massa seca foi obtida a parti da secagem do material em estufa de circulação forçada em temperatura de 65°C no período de 72 horas e posteriormente realizou-se a pesagem do material seco, com auxílio de balança analítica de precisão.

No final do experimento os dados foram submetidos a análise de variância pelo teste F e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade utilizando o Programa de análise estatística Sisvar (Ferreira, 2010). A variável doses de Níquel mg dm⁻³ de solo foi realizado o teste de análise de regressão. Foi realizado o agrupamento por meio do método hierárquico UPGMA (*Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean*) empregando as médias de todas as variáveis. As distancias foram estimadas pelo método de distância Euclidiana e em combinação com o método de agrupamento de Tocher (Bhering, 2017). Quando observado efeito significativo nos agrupamentos, as médias dos grupos foram visualizadas através de gráficos de calor (heatmap). Na realização das análises foram empregados os pacotes: biotools, ape, factoextra, pheatmap, d3pheatmap e ComplexHeatmap no software Rbio (Bhering, 2017). No gráfico de calor, a cor vermelha representa um valor alto, enquanto a cor azul indica um valor baixo para as variâncias.

RESULTADOS

Ao avaliar os dados da ANOVA observasse que não houve diferenças significativas ao considerar as interações dos fatores avaliados e para o fator NI (Tabela 2). O fator N manifestou diferenças significativas ($p < 0.01$) na maioria das variáveis com a exceção das variáveis MGRAO e CRAIZ que não

manifestaram diferenças significativas. Os CV foram adequados com valores mínimos de 8,38% para AT e máximos de 24,07% para MCAP (Tabela 2), evidenciando boa precisão experimental.

Tabela 2. Resumo da análise de variância de número de folhas (NFOL - unidade), altura de planta (AT - cm), massa seca aérea (MSPA - g), massa seca raiz (MSR - g), massa de grão (MGRAO - g), clorofila, comprimento de raiz (CRAIZ -cm), número de capsulas, massa de capsulas (MCAP - g).

FV	NFOL	AT	MSPA	MSR	MGRAO	CLOROFILA	CRAIZ	NCAP	MCAP
NI	0,84 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,95 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,76 ^{ns}	0,86 ^{ns}
N	0,00 ^{**}	0,00 ^{**}	0,00 ^{**}	0,00 ^{**}	0,67 ^{ns}	0,00 ^{**}	0,20 ^{ns}	0,00 ^{**}	0,01 ^{**}
NIxN	0,84 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,95 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,76 ^{ns}	0,86 ^{ns}
CV(%)	17,06	8,38	15,20	23,73	17,11	31,27	15,90	20,64	24,07

** significativo a 1%, * significativo a 5% e ns não significativo. CV: Coeficiente de variação.

Quando avaliado o efeito do fator N, verificou-se que, para a características de número de folhas (Figura 1A), altura de plantas (Figura 1B), massa seca de parte aérea (Figura 1C) e massa seca de raiz (Figura 1D), houve superioridade da dose de 100% de nitrogênio, seguida pela dose de 50%, ambas superiores ao tratamento controle, no qual não foi aplicado o adubo nitrogenado (Figura 1). Em relação ao tratamento controle, quando aplicada a dose de 100% de nitrogênio houve acréscimos na ordem de 52,95%, 13,34%, 1,41% e 55%, respectivamente.

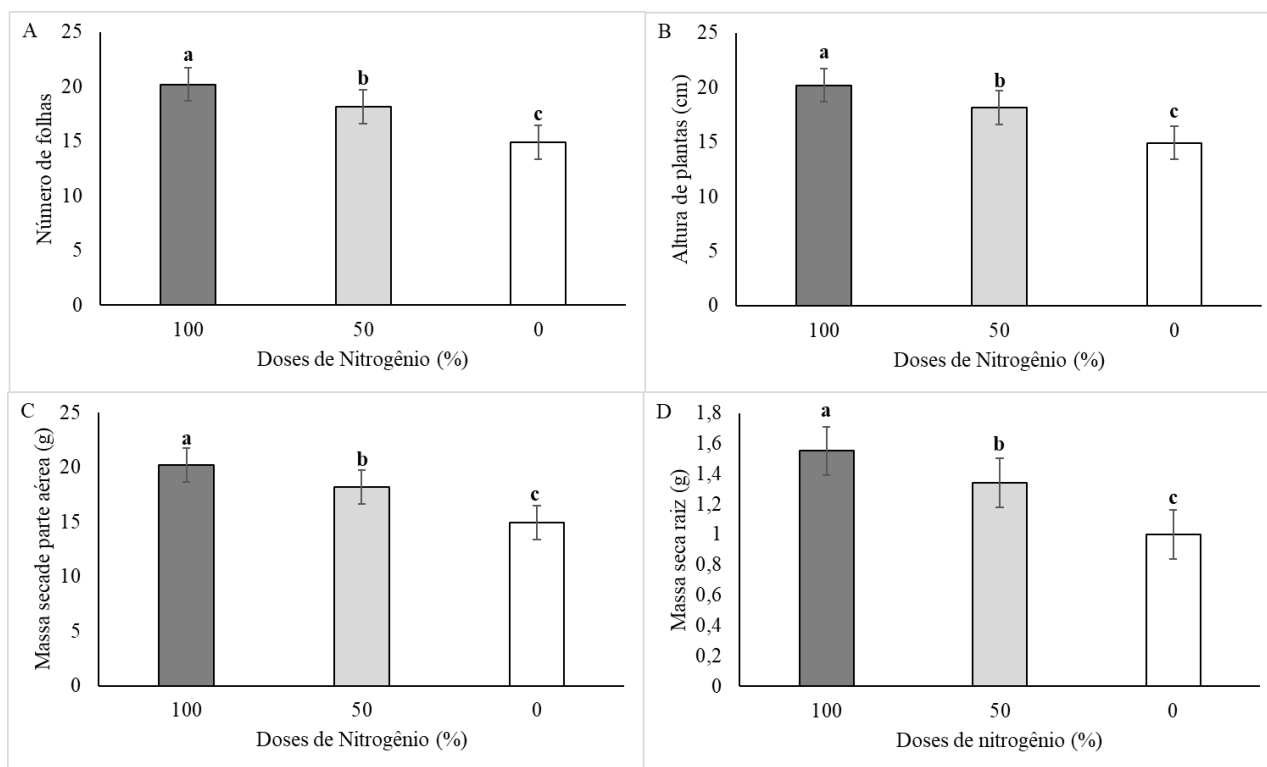


Figura 1. Valores médios de número de folhas A), altura de plantas B), massa seca de parte aérea C) e massa seca de raiz D) das plantas de gergelim cultivadas sob diferentes doses de nitrogênio.

Em relação a massa seca de capsulas, número de capsulas e teor relativo de clorofila houve superioridade de ambas as doses de nitrogênio, 100% e 50%, sobre o tratamento controle (Figura 2), as quais representaram incrementos de 27,14% e 30,09% para massa seca de capsulas, 42,99% e 40,46% para número de capsulas e 62,31% e 52,23% teor relativo de clorofila e em relação a dose de 0%.

Para as características de altura de plantas e comprimento de raiz foi constatado que o incremento das doses de níquel até a maior dose estudada (6 mg), houve acréscimo linear conforme elevaram-se as doses (Figura 3). Para a característica de altura de plantas, o incremento foi de 1,36% a cada mg de NiSO_4 aplicado, enquanto o comprimento de raiz foi incrementado 3,12% a cada mg de NiSO_4 aplicado.

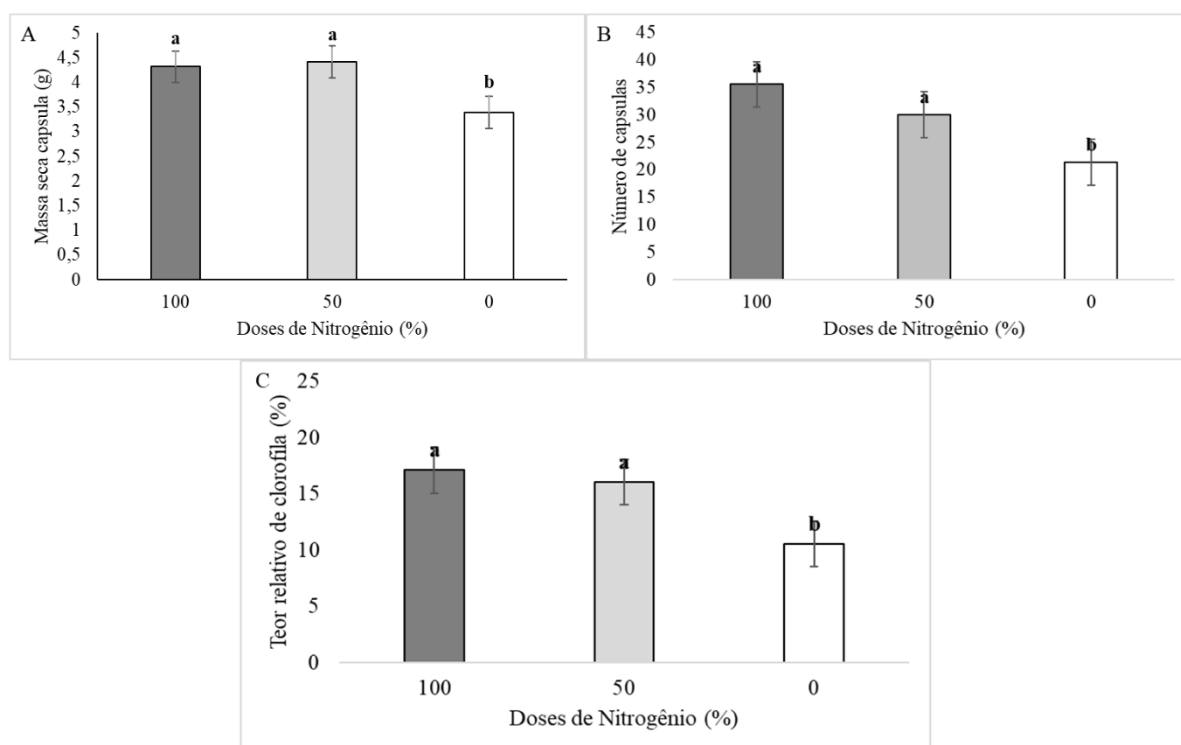


Figura 2. Massa seca de capsulas A), número de capsulas B) e teor relativo de clorofila C) das plantas de gergelim cultivadas sob diferentes doses de nitrogênio.

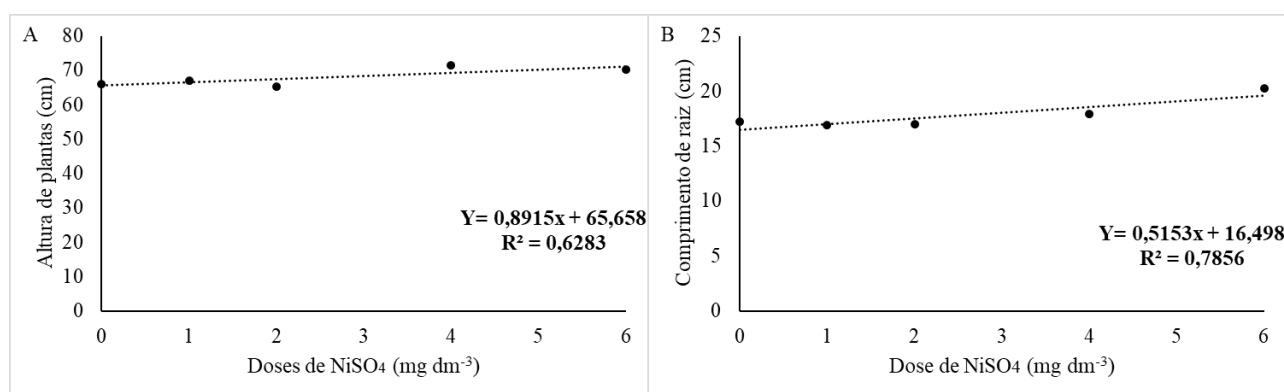


Figura 3. Altura de plantas A) e comprimento de raiz B) de plantas de gergelim cultivadas sob diferentes doses de níquel.

A Figura 4 mostra o dendrograma e mapa de calor obtido ao considerar as variáveis medidas e as combinações (N x Ni) de tratamentos testados no experimento. Os tratamentos foram agrupados em quatro grupos diferentes que incluem no G1 seis tratamentos com doses 0 de N e apenas um com doses de 50% de N. No G1 os tratamentos agrupados são aqueles que manifestam os menores valores das nove variáveis avaliadas (Figura 4). O G2 inclui os tratamentos com as maiores doses de Ni com 6 mg e as doses de N de 50 e 100%, estes dois tratamentos manifestaram os máximos valores das variáveis medidas. Os G3 e G4 incluem tratamentos que manifestaram valores intermediários para a maioria das variáveis medidas (Figura 4). Quando considerado as variáveis houve a formação de dois grupos de variáveis, um primeiro com quatro variáveis CRAIZ, ALT, MCAP E CLOROFILA e um segundo grupo com cinco variáveis NFOL, MSR, MSPA, NCAP E MGRAO.

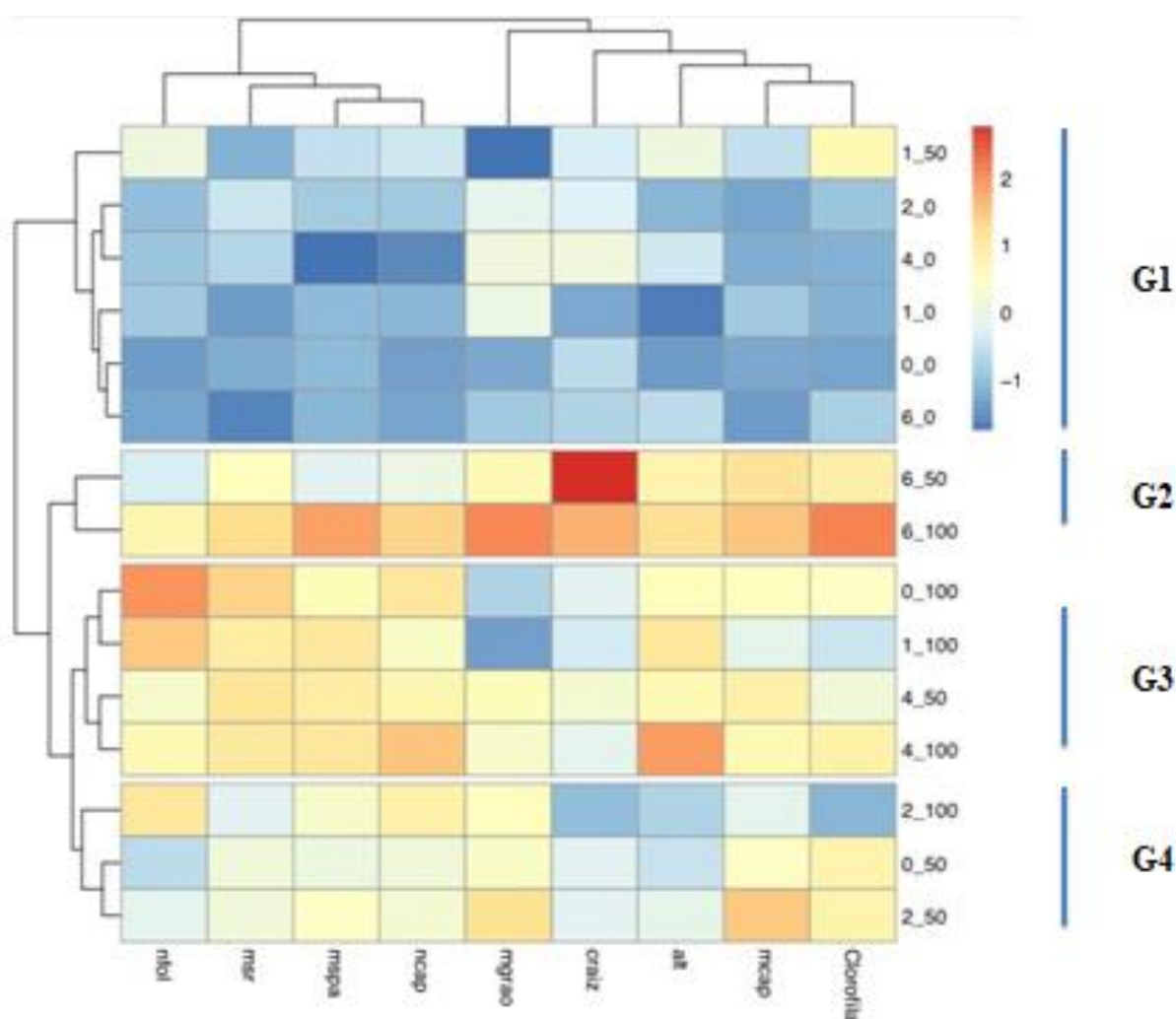


Figura 4. Dendrograma e mapa de calor das análises de agrupamento hierárquico. No eixo horizontal as siglas significam: Número de folhas (NFOL), altura de planta (AT), massa seca aérea (MSPA), massa seca raiz (MSR), massa de grão (MGRAO), clorofila, comprimento de raiz (CRAIZ), número de capsulas (NCAP), e massa de capsulas (MCAP). No eixo vertical são mostradas as combinações dos níveis de níquel e de nitrogênio.

DISCUSSÃO

Os resultados obtidos mostram que a aplicação de nitrogênio foi benéfica às características avaliadas, promovendo uma superioridade nas médias de características vegetativas (Figura 1 e 2). Neste sentido, os resultados obtidos estão relacionados à responsividade do gergelim ao nitrogênio, fato evidenciado por estudos anteriores, em que a aplicação de doses crescentes deste elemento resultou em incrementos quanto ao desenvolvimento em altura, número de folhas, expansão do limbo foliar (Thuc et al., 2022), acúmulo de massa nos órgãos aéreos (Golan et al., 2022) e crescimento dos órgãos radiculares (Sehgal et al., 2021).

Aplicações crescentes de doses de fertilizantes nitrogenados tendem a incrementar o teor deste nutriente nos órgãos vegetais (Sehgal et al., 2021; Thuc et al., 2022), potencializando respostas fisiológica das plantas devido à capacidade do nitrogênio em atuar nos processos metabólicos e enzimáticos, como formação de clorofila (Khorami et al., 2020) e, consequentemente, afetar positivamente a capacidade de trocas gasosas das plantas (Sehgal et al., 2021).

Incrementos nas taxas fotossintéticas também estão relacionados ao acúmulo de açúcares, consequentemente, a aplicação de doses crescentes de nitrogênio afetam os teores de reservas presentes nas plantas de gergelim, tais como carboidratos (Wang et al., 2024).

Adicionalmente aos efeitos obtidos pela elevação das doses de nitrogênio, constatou-se efeito benéfico da aplicação de níquel sobre as características de altura de plantas e comprimento radicular (Figura 2). Esta resposta está relacionada ao caráter de essencialidade do Ni que, quando em níveis adequados, estimula a produção de hormônios envolvidos na divisão e expansão celular (Zhou et al., 2023).

A fertilização com níquel também influencia positivamente os mecanismos de defesa (Rabinovich et al., 2024) e atividade fotossintética das plantas (Rodak et al., 2024). Em complemento, apesar de não haverem sido identificadas interações entre as aplicações de níquel e nitrogênio no presente estudo, observa-se na literatura que para culturas leguminosas há elevada interação entre estes nutrientes, onde o níquel atua como um promotor da assimilação de nitrogênio (Rodak et al., 2024). Todavia, essa resposta à exposição ao níquel varia entre espécies vegetais, dependendo da capacidade de acúmulo, órgãos com maior concentração, entre outros fatores (Seregin; Kozhevnikova, 2006).

Com base nos presentes resultados e aqueles evidenciados pela literatura, constata-se a importância de estudos aprofundados sobre doses e formas de aplicação do níquel em espécies como o gergelim, a fim de serem reportados os efeitos em espécies de interesse econômico, uma vez que essa temática está fortemente associada aos estresses causados pelo excesso deste nutriente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Berton, R. S., Pires, A. M. M., Andrade, S. A. L. D., Abreu, C. A. D., Ambrosano, E. J., & Silveira, A. P. D. D. (2006). Toxicidade do níquel em plantas de feijão e efeitos sobre a microbiota do solo. *Pesquisa Brasileira Agropecuária*, 41, 1305–1312.
- Bhering, L. L. (2017). Rbio: A Tool For Biometric And Statistical Analysis Using The R Platform. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 17, 187-190.
- Embrapa (2018). Sistema brasileiro de classificação de solos. 5. ed., rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa,. 353 p.
- Fabiano, C. C., Tezotto, T., Favarin, J. L., Polacco, J. C., & Mazzafera, P. (2015). Essentiality of nickel in plants: a role in plant stresses. *Frontiers in Plant Science*, 6, 754.
- Ferreira, D. F. (2010). *SISVAR* - Sistema de análise de variância. Versão 5.3. Lavras-MG: UFLA. 66 p.
- Franco, G. D. C. (2015). Tratamento de sementes de soja com níquel para o aumento da fixação biológica e atividade da urease [Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo].
- Golan, E., Peleg, Z., Tietel, Z., & Erel, R. (2022). Sesame response to nitrogen management under contrasting water availabilities. *Oil Crop Science*, 7(4), 166-173.
- Kefale, H., & Wang, L. (2022). Discovering favorable genes, QTLs, and genotypes as a genetic resource for sesame (*Sesamum indicum* L.) improvement. *Frontiers in Genetics*, 13, 1002182.
- Khorami, A., Sinaki, J., Dehaghi, M., Rezvan, S., & Damavandi, A. (2020). Sesame (*Sesame indicum* L.) biochemical and physiological responses as affected by applying chemical, biological, and nano-fertilizers in field water stress conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 43(3), 456-475.
- Lima, E. G., Zanuzo, M. R., Vieira, C. V., Pelissari, F., & de Andrade Coimbra, R. (2024). Effect of nickel seed treatment in soybeans. *Scientific Electronic Archives*, 17(1).
- Naik, S. K., Sasmal, S., Sur, P., Pandit, T., Mandal, M., & Das, D. K. (2010). Mobility of lead and nickel in soil in relation to nutrition of sesame. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 56(2), 223-236.
- Naveed, M., Bukhari, S. S., Mustafa, A., Ditta, A., Alamri, S., El-Esawi, M. A., & Siddiqui, M. H. (2020). Mitigation of nickel toxicity and growth promotion in sesame through the application of a bacterial endophyte and zeolite in nickel contaminated soil. *International journal of environmental research and public health*, 17(23), 8859.
- Qureshi, M., Langham, D. R., Lucas, S. J., Uzun, B., & Yol, E. (2022). Breeding history for shattering trait in sesame: classic to genomic approach. *Molecular Biology Reports*, 49(7), 7185-7194.
- Rabinovich, A., Di, R., Lindert, S., & Heckman, J. (2024). Nickel and Soil Fertility: Review of Benefits to Environment and Food Security. *Environments*, 11(8), 177.
- Revoredo, M. D., & Melo, W. J. D. (2006). Disponibilidade de níquel em solo tratado com lodo de esgoto e cultivado com sorgo. *Bragantia*, 65, 679-685.

- Rodak, B. W., Freitas, D. S., Rossi, M. L., Linhares, F. S., Moro, E., Campos, C. N. S., & Lavres, J. (2024). A study on nickel application methods for optimizing soybean growth. *Scientific Reports*, 14(1), 10556.
- Sanni, G. B., Ezin, V., Chabi, I. B., Missihoun, A. A., Florent, Q., Hamissou, Z., & Ahanchede, A. (2024). Production and Achievements in *Sesamum indicum* Industry in the world: past and current state. *Oil Crop Science*, 9(3), 187-197.
- Sehgal, A., Smith, C. A., Walne, C. H., Chastain, D., Shankle, M., & Reddy, K. R. (2021). Developing functional relationships between sesame growth, development, and nitrogen nutrition during early season. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 4(3), e20198.
- Seregin, I., & Kozhevnikova, A. D. (2006). Physiological role of nickel and its toxic effects on higher plants. *Russian journal of plant Physiology*, 53, 257-277.
- Thuc, L. V., Huu, T. N., Ngoc, T. M., Hue, N. H., Quang, L. T., Xuan, D. T., ... & Khuong, N. Q. (2022). Effects of nitrogen fertilization and nitrogen fixing endophytic bacteria supplementation on soil fertility, N uptake, growth, and yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivated on alluvial soil in dykes. *Applied and Environmental Soil Science*, 2022(1), 1972585.
- Wang, M., Wang, Y., Wang, X., Wei, G., Yang, H., Yang, X., ... & Wu, Z. (2024). Integrated physiological, biochemical, and transcriptomics analyses reveal the underlying mechanisms of high nitrogen use efficiency of black sesame. *Plant Physiology and Biochemistry*, 206, 108205.
- Wei, P., Zhao, F., Wang, Z., Wang, Q., Chai, X., Hou, G., & Meng, Q. (2022). Sesame (*Sesamum indicum* L.): A comprehensive review of nutritional value, phytochemical composition, health benefits, development of food, and industrial applications. *Nutrients*, 14(19), 4079.
- Zhou, P., Jiang, Y., Adeel, M., Shakoor, N., Zhao, W., Liu, Y., ... & Zhang, P. (2023). Nickel oxide nanoparticles improve soybean yield and enhance nitrogen assimilation. *Environmental Science & Technology*, 57(19), 7547-7558.

Índice Remissivo

A

agrupamento, 61, 65
análise multivariada, 8, 10, 11, 12
Arachis hypogaea L., 6
Azospirillum brasilense, 26, 27, 28, 33, 47, 48, 51, 55

E

Enneothrips enigmaticus, 6, 9

G

gergelim, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66

H

Heatmap, 11

L

Lactuca sativa, 26

N

Nicotinamida, 27, 29
níquel, 59, 60, 63, 64, 65, 66
nitrogênio, 59, 60, 61, 62, 63, 65, 66

P

Piridoxina, 27, 29, 32

S

Sesamum indicum, 59

U

UPGMA, 8, 11

Sobre os organizadores



  **Jorge González Aguilera**

Engenheiro Agrônomo, graduado em Agronomia (1996) na Universidad de Granma (UG), Bayamo, Cuba. Especialista em Biotecnologia (2002) pela Universidad de Oriente (UO), Santiago de Cuba, Cuba. Mestre (2007) em Fitotecnia na Universidade Federal do Viçosa (UFV), Minas Gerais, Brasil. Doutor (2011) em Genética e Melhoramento de Plantas na Universidade Federal do Viçosa (UFV), Minas Gerais, Brasil. Pós - Doutorado (2016) em Genética e Melhoramento de Plantas na EMBRAPA Trigo, Rio Grande do Sul, Brasil. Professor Visitante (2018-2022) na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) no campus Chapadão do Sul (CPCS), MS, Brasil. Professor substituto (2023-Atual) na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Cassilândia, MS, Brasil. Atualmente, possui 184 artigos publicados/aceitos em revistas nacionais e internacionais, 29 resumos simples/expandidos, 69 organizações de e-books, 53 capítulos de e-books. É editor da Pantanal Editora, e da Revista Trends in Agricultural and Environmental Sciences, e revisor de 19 revistas nacionais e internacionais. Contato: j51173@yahoo.com



 **Leandris Argente-Martínez**

Professor Titular e Professor Catedrático "C" no Instituto Tecnológico Nacional do México, Campus Valle del Yaqui (ITVY). É membro do Sistema Nacional de Pesquisadores (SNI) da SECIHTI, Nível 1. É Professor PRODEP do Ministério da Educação Pública do México e lidera o Grupo Acadêmico Consolidado ITVAYA-CA3. Suas áreas de pesquisa incluem Fisiologia Vegetal, Bioquímica e Biologia Celular e Molecular em plantas e microrganismos. Possui doutorado em Biotecnologia. Sua pesquisa concentra-se em mecanismos fisiológicos, vias anapleróticas e mecanismos moleculares ativados por organismos durante sua adaptação a estresses abióticos. Ele utiliza marcadores moleculares de tolerância de organismos ao estresse abiótico (salinidade, seca e calor). Emprega técnicas de isótopos estáveis para monitorar reações bioquímicas em células e tecidos. Também aplica técnicas experimentais univariadas e multivariadas para processamento de dados. E-mail para contato: oleinismora@gmail.com



  **Alan Mario Zuffo**

Engenheiro Agrônomo, graduado em Agronomia (2010) na Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT). Mestre (2013) em Agronomia - Fitotecnia (Produção Vegetal) na Universidade Federal do Piauí (UFPI). Doutor (2016) em Agronomia - Fitotecnia (Produção Vegetal) na Universidade Federal de Lavras (UFLA). Pós-Doutorado (2018) em Agronomia na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS). Atualmente, possui 237 artigos publicados/aceitos em revistas nacionais e internacionais, 131 resumos simples/expandidos, 86 organizações de e-books, 53 capítulos de e-books. É editor chefe da Pantanal editora e da Revista Trends in Agricultural and Environmental Sciences, e revisor de 23 revistas nacionais e internacionais. Professor adjunto II na UEMA em Balsas. Contato: alan_zuffo@hotmail.com.



  **Bruno Rodrigues de Oliveira**

Graduado em Matemática pela UEMS/Cassilândia (2008). Mestrado (2015) e Doutorado (2020) em Engenharia Elétrica pela UNESP/Ilha Solteira. Pós-doutorado pela UFMS/Chapadão do Sul na área de Inteligência Artificial aplicada na Engenharia Florestar/Agrônoma. É editor da Pantanal Editora e da Revista Trends in Agricultural and Environmental Sciences e Analista no Tribunal de Justiça de Mato Grosso do Sul. Tem experiência nos temas: Matemática, Processamento de Sinais via Transformada Wavelet, Análise Hierárquica de Processos, Teoria de Aprendizagem de Máquina e Inteligência Artificial, com ênfase em aplicações nas áreas de Engenharia Biomédica,

Ciências Agrárias e Organizações Públicas. Contato: bruno@editorapantanal.com.br



  **Fabio Steiner**

Graduação em Engenharia Agrônoma (2007), Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Marechal Cândido Rondon (2010), e Doutorado em Agronomia – Agricultura pela Universidade Estadual Paulista 'Júlio de Mesquita Filho' – UNESP/Botucatu (2014). Atualmente, é professor titular da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – UEMS, atuando no Curso de Graduação em Agronomia da Unidade Universitária de Cassilândia (MS) e no Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal (PGAGRO), nível de Mestrado e Doutorado, da Unidade Universitária de

Aquidauana. Tem experiência na área de Agronomia - Agricultura, com ênfase em fisiologia de plantas cultivadas, estresses abióticos, nutrição mineral de plantas, fertilidade do solo, sistemas agrícolas de produção agrícola e ciclagem de nutrientes, atuando principalmente com as culturas de soja, cana-de-açúcar, milho, amendoim, algodão, trigo, feijão e plantas de cobertura.

Em um cenário científico cada vez mais dependente da interpretação de grandes volumes de dados, a **Análise Multivariada** se estabelece como uma ferramenta estatística indispensável para extrair informações complexas e tomar decisões precisas.

Este volume é uma obra essencial que preenche a lacuna entre a teoria estatística e a prática de pesquisa nas Ciências Biológicas e Agrárias.



9786585756709



Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000

Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil

Telefone (66) 9608-6133 (Whatsapp)

<https://www.editorapantanal.com.br>

contato@editorapantanal.com.br