

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
CURSO DE BACHARELADO EM AGRONOMIA

KAMILA VITÓRIA DE ALMEIDA NEVES

**NITROGÊNIO ASSOCIADO A *Azospirillum brasilense* NA PRODUÇÃO DE MILHO
CULTIVADO EM CONSÓRCIO COM CANA-DE-AÇÚCAR**

CHAPADÃO DO SUL – MS

2026

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
CURSO DE BACHARELADO EM AGRONOMIA

**NITROGÊNIO ASSOCIADO A *Azospirillum brasilense* NA PRODUÇÃO DE MILHO
CULTIVADO EM CONSÓRCIO COM CANA-DE-AÇÚCAR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul,
como parte dos requisitos para obtenção do
título de Engenheira Agrônoma.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Rita de Cássia Félix
Alvarez

CHAPADÃO DO SUL – MS

2026



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

AUTORA: **Kamila Vitória de Almeida Neves.**

ORIENTADORA: **Profa. Dra. Rita de Cássia Félix Alvarez.**

Aprovada pela Banca Examinadora como parte das exigências do Componente Curricular Não Disciplinar TCC, para obtenção do grau de BACHARELA EM AGRONOMIA, pelo curso de Bacharelado em Agronomia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus de Chapadão do Sul.

Profa. Dra. Rita de Cássia Félix Alvarez
Presidente da Banca Examinadora e Orientador

Eng. Agr. Me. Erivaldo Plínio Borges da Costa Junior
Membro da Banca Examinadora

Eng. Agr. Me. Mérite Raymonde Gbènkpon Soho
Membro da Banca Examinadora

Chapadão do Sul, 19 de junho de 2026.

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Rita de Cassia Felix Alvarez, Professora do Magistério Superior**, em 19/06/2026, às 10:07, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Mérite Raymonde Gbenankpon Soho, Usuário Externo**, em 19/06/2026, às 10:08, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Erivaldo Plínio Borges da Costa Júnior, Usuário Externo**, em 19/06/2026, às 10:14, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **6478759** e o código CRC **A4E7D4B0**.

COORDENAÇÃO DE GESTÃO ACADÊMICA DO CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL

Avenida Engenheiro Douglas Ribeiro Pantaleão, nº 5167

Fone:

CEP 79560-000 - Chapadão do Sul - MS

Referência: Processo nº 23455.000475/2026-09

SEI nº 6478759

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho à minha família, meu porto
seguro em todos os momentos desta jornada.*

*“Que ninguém se engane, só consigo a simplicidade
através de muito trabalho.”*

Clarice Lispector

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	v
LISTA DE FIGURAS	vi
RESUMO	vii
1) INTRODUÇÃO	1
2) MATERIAL E MÉTODOS.....	2
2.1 Localização e caracterização da área experimental.....	2
2.2 Delineamento experimental	2
2.3 Condução dos experimentos	3
2.3.1 Safra 2023/2024	3
2.3.2 Safra 2024/2025	3
2.4 Sistema de cultivo em consórcio com cana-de-açúcar	3
2.5 Tratamentos.....	3
2.6 Variáveis avaliadas	4
2.6.1 Parâmetros biométricos.....	4
2.6.2 Componentes de produção e produtividade	4
2.7 Análise estatística	4
3) RESULTADOS	5
4) DISCUSSÃO	11
5) CONCLUSÃO	13
REFERÊNCIAS	14

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análise de solo realizada na área experimental.	2
Tabela 2. Resumo da análise de variância para os quadrados médios.	5
Tabela 3. Comparação de média para as doses significativas de inoculação.	6

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Variáveis canônicas para a relação das variáveis com as doses de nitrogênio..	7
Figura 2. Variáveis canônicas para a relação das variáveis com as doses de inoculação.	8
Figura 3. Correlação de Pearson para a relação entre as variáveis de acordo com as doses de nitrogênio.....	10
Figura 4. Correlação de Pearson para a relação entre as variáveis de acordo com as doses de inoculação.....	11

NITROGÊNIO ASSOCIADO A *Azospirillum brasilense* NA PRODUÇÃO DE MILHO CULTIVADO EM CONSÓRCIO COM CANA-DE-AÇÚCAR

RESUMO

O elevado custo dos fertilizantes nitrogenados tem impulsionado a busca por alternativas mais sustentáveis, como a inoculação com bactérias promotoras de crescimento, a exemplo de *Azospirillum brasilense*, visando aumentar a eficiência e a rentabilidade dos sistemas de produção. A hipótese é que a inoculação com *Azospirillum brasilense* aumenta a eficiência da utilização de nitrogênio pelo milho em sistema consorciado com cana-de-açúcar, resultando em melhorias nos parâmetros de crescimento, desenvolvimento e produtividade da cultura. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar a influência da inoculação com *Azospirillum brasilense*, associada a doses de nitrogênio, sobre os parâmetros agrônômicos do milho cultivado em consórcio com cana-de-açúcar durante dois ciclos. O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial, com quatro repetições. As fontes de variação corresponderam às inoculações com *Azospirillum brasilense* [SI: sem inoculação; DP: dose padrão; 3DP: dose padrão triplicada] e às doses de ureia [D0 = 0; D60 = 60; D120 = 120; e D240 = 240 kg ha⁻¹ de N]. Foram avaliadas altura de planta, altura de inserção da espiga, diâmetro de colmo, diâmetro da espiga, comprimento da espiga, número de fileiras de grãos, número de grãos por fileira, total de grãos por espiga e produtividade. A dose de 240 kg ha⁻¹ de N esteve associada à altura de plantas, altura de inserção de espigas, diâmetro de espiga, comprimento de espiga, número de grãos por fileira, número de grãos total por espiga e produtividade de grãos. A inoculação com *Azospirillum brasilense* em dose dupla influenciou atributos morfológicos como altura de plantas, altura de inserção de espigas, número de grãos por fileira e número de grãos total por espiga, enquanto em dose tripla influenciou altura de inserção de espigas, diâmetro de espiga e número de grãos total por espiga.

Palavras-chave: bactérias promotoras de crescimento vegetal; produtividade; *Zea mays*; parâmetros morfológicos.

NITROGEN FERTILIZATION ASSOCIATED WITH *Azospirillum brasilense* IN MAIZE PRODUCTION UNDER A SUGARCANE–MAIZE INTERCROPPING SYSTEM

Abstract

The high cost of nitrogen fertilizers has driven the search for more sustainable alternatives, such as inoculation with plant growth-promoting bacteria, notably *Azospirillum brasilense*, aiming to increase the efficiency and profitability of production systems. The hypothesis is that inoculation with *Azospirillum brasilense* increases nitrogen use efficiency in maize grown in intercropping with sugarcane, resulting in improvements in growth, development, and yield parameters of the crop. Thus, this study aimed to evaluate the influence of inoculation with *Azospirillum brasilense*, associated with nitrogen rates, on the agronomic parameters of maize cultivated in intercropping with sugarcane over two cycles. The experiment was conducted in a randomized complete block design, in a factorial scheme, with four replications. The sources of variation corresponded to inoculations with *Azospirillum brasilense* [NI: no inoculation; SD: standard dose; 3SD: triple standard dose] and urea rates [D0 = 0; D60 = 60; D120 = 120; and D240 = 240 kg ha⁻¹ of N]. The following variables were evaluated: plant height, ear insertion height, stalk diameter, ear diameter, ear length, number of kernel rows, number of kernels per row, total kernels per ear, and grain yield. The rate of 240 kg ha⁻¹ of nitrogen was associated with plant height, ear insertion height, ear diameter, ear length, number of kernels per row, total kernels per ear, and grain yield. Inoculation with *Azospirillum brasilense* at double dose influenced morphological attributes such as plant height, ear insertion height, number of kernel rows, and total kernels per ear, while at triple dose it influenced ear insertion height, stalk diameter, and total kernels per ear.

Keywords: plant growth-promoting bacteria; yield; *Zea mays*; morphological parameters.

1) INTRODUÇÃO

A produção de biocombustíveis tem ganhado destaque no Brasil, com a cana-de-açúcar ocupando posição consolidada como principal matéria-prima para o etanol. Nos últimos anos, contudo, o etanol de milho vem ampliando sua participação na matriz energética nacional. Na safra 2024/2025, a produção total de etanol atingiu cerca de 37,3 bilhões de litros, sendo 7,7 bilhões oriundos do milho, representando um crescimento de 33% em relação à safra anterior (CONAB, 2025).

Projeta-se que a demanda por biocombustíveis no país continue em crescimento, desempenhando papel central na manutenção da renovação da matriz energética (EPE, 2025). Nesse cenário, sistemas agrícolas que promovam o uso mais racional dos recursos produtivos, com aproveitamento integrado de insumos, maquinário e área cultivada, têm se tornado estratégicos para a sustentabilidade na agroindústria. O consórcio entre cana-de-açúcar e milho desponta como alternativa promissora, pois, além de otimizar o uso do solo, permite integrar as cadeias de produção de etanol e de proteína animal por meio do aproveitamento do subproduto DDGS (Distillers Dried Grains with Solubles) oriundo do processamento do milho, empregado como insumo na alimentação de bovinos em confinamento (Santos Junior et al., 2020).

O nitrogênio é o nutriente de maior impacto sobre os componentes de rendimento e a produtividade do milho, exercendo influência direta em diversos aspectos do crescimento e do desenvolvimento da planta (Malavolta, 1980), como o índice de área foliar, ao acúmulo de biomassa e a produtividade de grãos (França et al., 2011). Entretanto, a adubação nitrogenada está entre os insumos de maior custo na cultura (Silva et al., 2005), e sua eficiência é frequentemente limitada por perdas por volatilização, lixiviação e desnitrificação, que comprometem o aproveitamento do nutriente aplicado (Hina, 2024; Santos et al., 2020; Takeda et al., 2023). Além do impacto econômico, o uso intensivo de fertilizantes sintéticos contribui para a emissão de gases de efeito estufa e para a contaminação de águas subterrâneas (Gao et al., 2024; Menegat et al., 2022), o que reforça a necessidade de alternativas que conciliem produtividade, sustentabilidade e viabilidade financeira.

A utilização de microrganismos fixadores biológicos de nitrogênio tem se consolidado como uma alternativa promissora para aumentar a eficiência do uso de nutrientes em sistemas agrícolas. Entre esses organismos, *Azospirillum brasilense* tem demonstrado potencial para reduzir a dependência de doses elevadas de fertilizantes nitrogenados, mantendo ou até incrementando a produtividade, por meio do aumento da eficiência de uso do nitrogênio (Condori et al., 2024; Hungria et al., 2022). A inoculação com *Azospirillum brasilense* exerce

múltiplos efeitos benéficos, incluindo a produção de fitohormônios, que tem demonstrado potencial de estimular a cultura a tolerar os estresses bióticos e abióticos e promover maior crescimento radicular (Marques et al., 2023; Silva et al., 2024). Esses efeitos fisiológicos resultam em sistemas radiculares mais desenvolvidos e maior eficiência na absorção de nutrientes, o que justifica o uso como complemento ao manejo nitrogenado.

A hipótese deste trabalho é de que a inoculação com *Azospirillum brasilense* aumenta a eficiência da utilização de nitrogênio pelo milho em sistema consorciado com cana-de-açúcar, resultando em melhorias nos parâmetros de crescimento, desenvolvimento e produtividade da cultura. O objetivo de avaliar a influência da inoculação com *Azospirillum brasilense* associado a doses de nitrogênio sobre os parâmetros agrônômicos do milho cultivado em consórcio com cana-de-açúcar.

2) MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido nas safras 2023/2024 e 2024/2025, no município de Chapadão do Céu – GO, nas coordenadas 18°17'59.5" S; 52°42'12.1" O. O solo é classificado como Latossolo Vermelho mesotrófico, cujas análise de solo (Tabela 1) foi realizada antes da implantação do experimento, na safra 2023/2024. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é Aw tipo (Alvares et al., 2013), com verões chuvosos e invernos secos. A precipitação anual acumulada é 1.740 mm e a temperatura média anual é 23,2°C.

Tabela 1. Análise de solo realizada na área experimental, Chapadão do Céu – GO, 2024.

Prof cm	MO g kg ⁻¹	pH CaCl ₂	P mg dm ⁻³ resina	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	S
						mmolc dm ⁻³			mg dm ⁻³
0-25	27,25	5,41	34,35	0,86	41,55	13,00	1,00	22,20	16,55
25-50	20,15	4,85	13,15	0,39	14,75	5,35	1,78	29,00	62,50

Prof cm	SB mmolc dm ⁻³	CTC	V% %	m% %	B	Cu	Mn	Fe	Zn
							mg dm ⁻³		
0-25	55,41	77,61	71,11	1,82	0,32	1,20	0,63	44,17	1,77
25-50	20,49	49,49	40,91	8,89	-	-	-	-	-

2.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial, com quatro repetições. A primeira fonte de variação foi constituída pelas inoculações com

Azospirillum brasilense (SI: sem inoculação; DP: dose padrão; 3 DP: dose padrão triplicada), e a segunda fonte de variação corresponde às doses de ureia: D0=0 kg ha⁻¹; D60 = 60 kg ha⁻¹; D120 = 120 kg ha⁻¹; e D240 = 240 kg ha⁻¹. Cada parcela foi constituída de 9 linhas de milho com 10 metros de comprimento, sendo consideradas como área útil as 3 linhas centrais, totalizando 4 m² por parcela.

2.3 Condução dos experimentos

2.3.1 Safra 2023/2024

A semeadura do milho foi realizada em 26/01/2024, com densidades populacionais de 68.000 sementes ha⁻¹ para o AG 8701 PRO4 e 70.000 sementes ha⁻¹ para o P3845 VYHR. A primeira parcela da adubação de cobertura foi aplicada em 09/02/2024 e a segunda em 01/03/2024. O travamento da cana ocorreu em 24/02/2024 e a colheita do experimento foi realizada em 18/06/2024.

2.3.2 Safra 2024/2025

A semeadura do milho foi realizada em 10/01/2025, com densidade de 70.000 sementes ha⁻¹ para ambos os híbridos avaliados (P3845 VYHR e DK356 PRO4). A primeira parcela da adubação de cobertura foi aplicada em 24/01/2025 e a segunda em 14/02/2025. O travamento da cana ocorreu em 08/02/2025 e a colheita do experimento foi realizada em 03/06/2025.

2.4 Sistema de cultivo em consórcio com cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (cultivar SP 801816), implantada em 21/04/2014 no espaçamento de 1,5 metro entre linhas, com nove cortes realizados até o início do período experimental. A semeadura do milho ocorreu 106 dias após a colheita do canavial, intercalando-se três linhas de milho, espaçadas em 0,5 m, nas entrelinhas da cana-de-açúcar. A adubação de semeadura do milho seguiu o padrão comercial da região, com aplicação de 225 kg ha⁻¹ do formulado 11-52-00 e 250 kg ha⁻¹ de 00-00-60.

Para controle da rebrota da cana (travamento), aplicou-se 504 g ha⁻¹ i.a. de glifosato sal de amônio em ambas as safras. Vinte e quatro horas após a semeadura, realizou-se a roçada mecânica da área para simular as condições de corte do canavial, procedimento adotado devido ao intervalo de tempo entre a colheita da cana e o plantio do milho.

2.5 Tratamentos

O inoculante utilizado continha *Azospirillum brasilense*, estirpes AbV5 e AbV6, com densidade de 1,00 g dm⁻³ de 2 × 10⁸ UFC mL⁻¹ sendo padrão comercial, aplicado via tratamento de sementes no dia da semeadura. As doses de nitrogênio, fornecidas na forma de ureia, de 120

e 240 kg ha⁻¹ foram parceladas em duas aplicações iguais (60 + 60 e 120 + 120 kg ha⁻¹, respectivamente).

2.6 Variáveis avaliadas

2.6.1 Parâmetros biométricos

No estádio R6 da maturação fisiológica do milho em cada safra, foram avaliadas cinco plantas aleatórias por parcela, na área útil, para determinação de: altura de planta (AP): do nível do solo até a curvatura da última folha, com régua graduada (cm); altura de inserção da espiga (AIE): do colo até a inserção da primeira espiga viável, com régua graduada (cm); e diâmetro do colmo (DC): mensurado a 1,0 cm do solo com paquímetro (cm).

2.6.2 Componentes de produção e produtividade

No ponto de colheita (umidade dos grãos a 15,5%), foram coletadas cinco espigas aleatórias por parcela na área útil para determinação de: comprimento de espiga (CE): da base ao ápice (cm); diâmetro de espiga (DE): na porção mediana (cm); número de fileiras de grãos por espiga (NF); número de grãos por fileira (NGF); e total de grãos na espiga (GT). A produtividade de grãos (Prod) foi determinada pela colheita da área útil de cada parcela (4 m²), com os valores expressos em kg ha⁻¹.

2.7 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância utilizando o software Genes (Cruz, 2013). Nos casos em que houve interação significativa entre as fontes de variação, foi realizado o desdobramento das variáveis dentro de cada fator, caso contrário, considerou-se o efeito independente dos fatores para as variáveis estudadas, o efeito safra foi considerado fixo e a inoculação e as doses como efeito aleatório. Na comparação de médias, foi realizado o teste de agrupamento de médias Scott-Knott (Scott & Knott, 1974) a 5% de probabilidade. Foi feita a análise de Correlação de Pearson para avaliar a associação entre as variáveis, variando de -1 (correlação negativa perfeita) a +1 (correlação positiva perfeita), posteriormente foi realizada a análise de componentes principais (PCA) a fim de avaliar a inter-relação entre as variáveis agronômicas, industriais e as safras cultivadas. Na análise de Correlação de Pearson foi utilizado o pacote “GGally” e para PCA o pacote “ggfortify”, utilizando o software livre R (R CORE TEAM, 2013).

3) RESULTADOS

Na Tabela 2, observa-se que a inoculação influenciou significativamente a altura de planta, altura de inserção da espiga, diâmetro de colmo, número de fileiras, total de grãos por espiga e produtividade, indicando efeito agrônômico relevante desse fator sobre o crescimento e o desempenho produtivo do milho. Em contraste, as doses de nitrogênio e a interação inoculação × doses de N não foram significativas para nenhuma variável, sugerindo ausência de resposta diferencial às doses aplicadas nas condições do experimento.

Tabela 2. Análise de variância para os dados de altura de planta (AP, m), altura de inserção da espiga (AIE, m), diâmetro de colmo (DC, cm), diâmetro da espiga (DE, cm), comprimento da espiga (CE, cm), número de fileira de grãos (NF), número de grãos por fileira (NGF), total de grãos na espiga (GT) e produtividade (Prod, kg ha⁻¹) em função da inoculação com *Azospirillum brasilense* e de doses de nitrogênio.

F.V.	GL	AP	AIE	DC	DE	CE
Inoculação (I)	2	140.21*	42.46*	6304.91*	50942.17	1608.80
Doses de N (N)	3	0.07	0.04	5.78	12.72	0.37
IxN	6	0.02	0.02	3.74	3.84	0.43
Resíduo	112	0.01	0.01	2.84	3.59	0.57
Média		1.71	0.94	11.44	32.57	5.77
CV(%)		5.59	8.05	14.75	5.82	13.03
F.V	GL	NF	NGF	GT	Prod	
Inoculação (I)	2	4502.08*	23029.98	4965273.46*	2634122595.91*	
Doses de N (N)	3	0.96	30.91	6734.24	8712921.64	
IxN	6	0.60	10.75	2448.11	6223139.07	
Resíduo	112	0.61	7.74	2316.53	5441026.13	
Média	-	9.68	21.90	321.62	7405.83	
CV(%)	-	8.07	12.70	14.96	31.50	

FV: fonte de variação; G.L: graus de liberdade; CV: coeficiente de variação; *significativo a 5% pelo teste F

Na Tabela 3, a ausência de inoculação apresentou os maiores valores para altura de planta, diâmetro de colmo, número de fileiras de grãos, total de grãos por espiga e produtividade, com destaque para a produtividade de 12.028,36 kg ha⁻¹. A dose padrão de inoculação elevou a altura de inserção da espiga, mas reduziu o diâmetro de colmo e a produtividade. A dose tripla também apresentou menor produtividade e menor número de fileiras.

Tabela 3. Comparação de médias para as variáveis influenciadas significativamente pela inoculação, como AP, AIE, DC, NF, GT e produtividade, em função da inoculação com *Azospirillum brasilense* e de doses de nitrogênio. Chapadão do Céu – GO.

Tratamento	AP	AIE	DC	NF	GT	Prod
Sem	2.62 a	1.44 b	17.96 a	14.86 a	493.80 a	12028.36 a
DP	2.58 a	1.45 a	16.53 b	14.71 a	483.63 a	10955.96 b
3DP	2.54 b	1.37 a	17.79 a	14.39 b	481.24 a	11261.95 b

Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade

Na Figura 1, a primeira variável canônica explicou 62,5% da variação dos dados e separou principalmente os tratamentos associados às variáveis produtivas, com destaque para AIE, GT e AP no sentido positivo do eixo. A segunda variável canônica explicou 35,5%, discriminando sobretudo NF e DC na porção superior e Prod e NGF na porção inferior. Observa-se maior associação entre produtividade e número de grãos por fileira, enquanto NF e DC se relacionaram em direção oposta, indicando padrões distintos de contribuição das variáveis ao desempenho do milho sob doses de nitrogênio. Os tratamentos com 120 e 240 kg ha⁻¹ de nitrogênio separaram-se de forma clara no lado positivo de Can1, onde a dose com 120 kg ha⁻¹ apresentou associação ao número de fileiras de grãos (NF) e ao diâmetro do colmo (DC), influenciando o aumento dessas variáveis. O tratamento com dose de 240 kg ha⁻¹ indicou uma forte associação com a altura de planta (AP), altura de inserção da espiga (AIE), diâmetro da espiga (DE), comprimento da espiga (CE), número de grãos por fileira (NGF), total de grãos na espiga (GT) e produtividade (Prod). Esses resultados revelam diferença entre as doses de nitrogênio nos parâmetros fitotécnicos do milho.

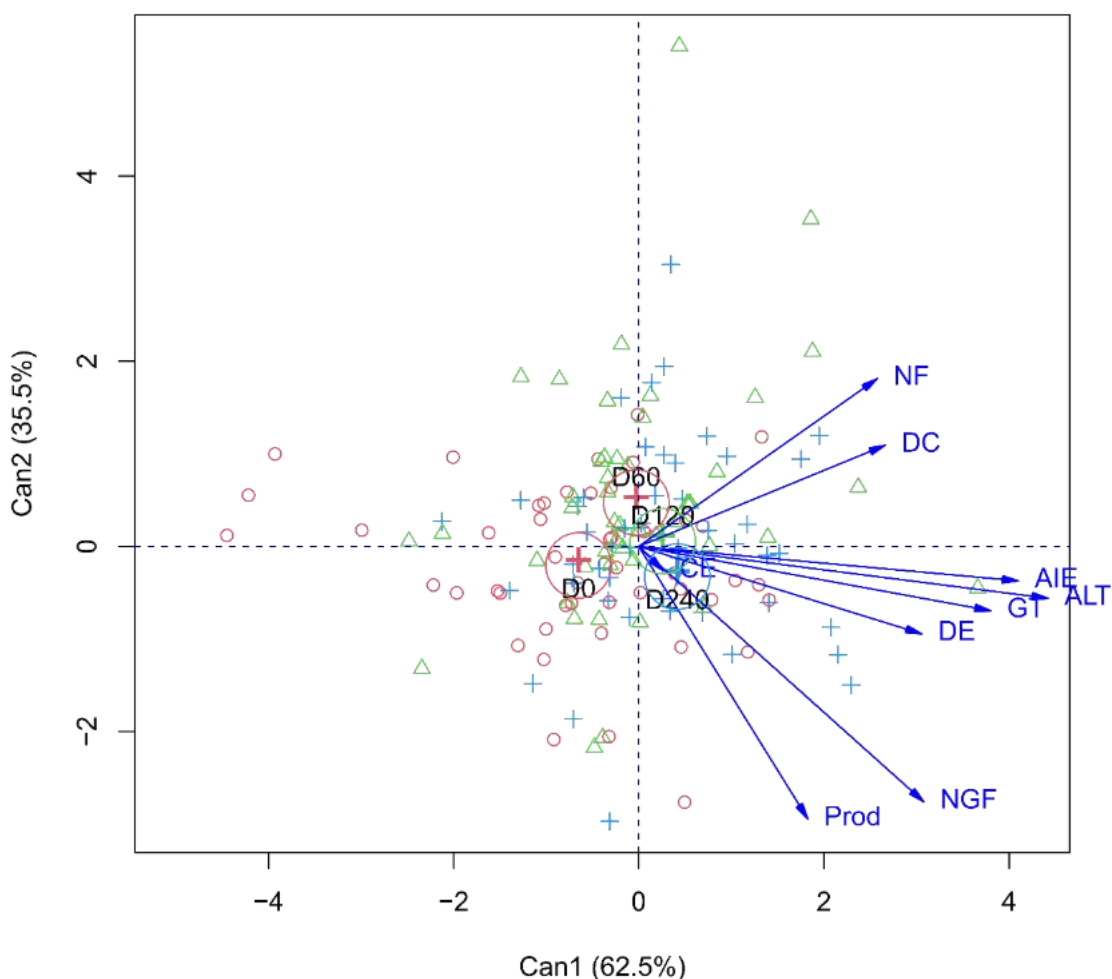


Figura. 1. Variáveis canônicas para a relação das variáveis altura de planta (AP, m), altura de inserção da espiga (AIE, m), diâmetro de colmo (DC, cm), diâmetro da espiga (DE, cm), comprimento da espiga (CE, cm), número de fileira de grãos (NF), número de grãos por fileira (NGF), total de grãos na espiga (GT) e produtividade (Prod, kg ha⁻¹) com as doses de nitrogênio. Chapadão do Céu – GO.

Na Figura 2, as duas primeiras variáveis canônicas explicaram 100% da variação total dos dados, com maior contribuição da Can1 (69,3%), seguida da Can2 (30,7%). A análise discriminante canônica evidenciou a separação dos tratamentos submetidos às doses de inoculação de *Azospirillum brasilense*, indicando diferença entre os grupos avaliados. As variáveis produtividade (Prod) e diâmetro de colmo (DC) projetaram-se no sentido positivo de Can1, sugerindo associação entre esses atributos. Em sentido oposto, no quadrante negativo de

Can1, localizaram-se as variáveis altura de inserção da espiga (AIE), diâmetro de espiga (DE), altura de planta (AP) e número de fileiras de grãos (NF), indicando comportamento contrastante entre esses conjuntos de variáveis.

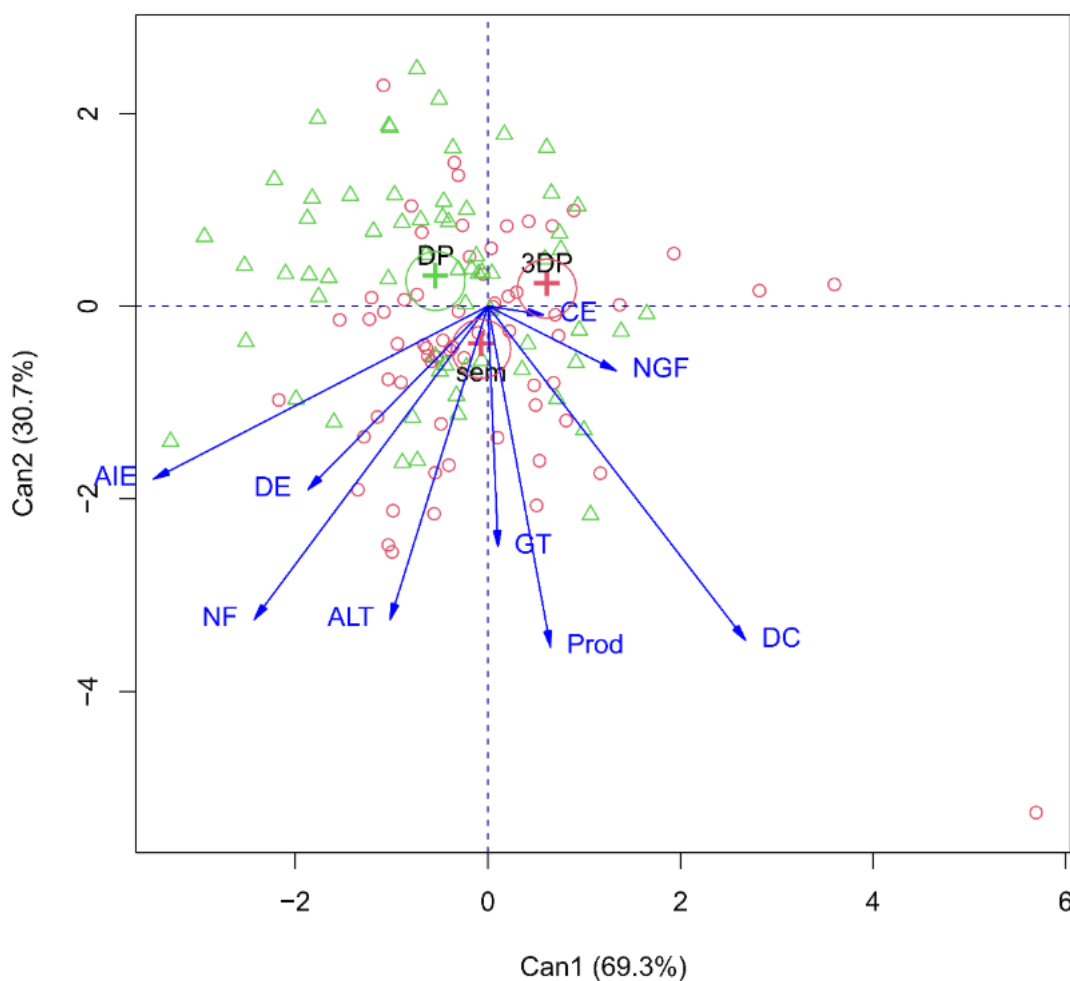


Figura. 2. Variáveis canônicas para a relação das variáveis altura de planta (AP, m), altura de inserção da espiga (AIE, m), diâmetro de colmo (DC, cm), diâmetro da espiga (DE, cm), comprimento da espiga (CE, cm), número de fileira de grãos (NF), número de grãos por fileira (NGF), total de grãos na espiga (GT) e produtividade (Prod, kg ha⁻¹) com as doses de inoculação.

Em relação aos tratamentos, o tratamento sem inoculação (SI) apresentou maior separação, posicionando-se no lado negativo de Can2 e no lado positivo de Can1, associando-se às variáveis número de grãos por fileira (NGF), diâmetro de colmo (DC), total de grãos na espiga (GT) e produtividade (Prod). Por outro lado, o tratamento com dose tripla (3DP) localizou-se no lado positivo de Can1, estando fortemente associado ao aumento do comprimento da espiga (CE). Os tratamentos com dose padrão e tripla de inoculação apresentaram-se próximos ao centroide, indicando menor discriminação entre si. De forma geral, a análise revela uma clara diferenciação entre as doses de *Azospirillum brasilense*, com destaque para a separação do tratamento sem inoculação (SI) e do tratamento com dose tripla (DP), evidenciando padrões distintos de resposta entre os atributos agrônômicos avaliados.

Na Figura 3, a altura de planta apresentou correlações positivas com a altura de inserção da espiga (AIE), comprimento da espiga (CE), número de grãos por fileira (NGF), total de grãos na espiga (GT) e produtividade (Prod), indicando que esses caracteres estiveram mais associados ao desempenho produtivo. Entre eles, destacaram-se o comprimento da espiga e o total de grãos, especialmente nas doses D0, D240 e D60, enquanto o diâmetro de colmo apresentou baixa associação com a produtividade. O número de grãos por fileira teve forte correlação com o total de grãos na espiga, evidenciando sua importância na formação do rendimento. De modo geral, as correlações variaram conforme a dose de nitrogênio, demonstrando que a resposta produtiva depende da interação entre nutrição nitrogenada e componentes morfológicos e produtivos da cultura.

	AIE	DC	DE	CE	NF	NGF	GT	Prod	
ALT	Corr: 0.895*** D120: 0.835*** D240: 0.844*** D60: 0.909***	Corr: 0.194** D120: 0.417** D240: 0.187 D60: 0.044	Corr: 0.413*** D120: 0.167 D240: 0.393* D60: 0.368	Corr: 0.731*** D120: 0.688*** D240: 0.728*** D60: 0.623***	Corr: 0.154* D120: -0.045 D240: 0.088 D60: 0.027	Corr: 0.683*** D120: 0.554*** D240: 0.619*** D60: 0.631***	Corr: 0.628*** D120: 0.427*** D240: 0.532*** D60: 0.568	Corr: 0.545*** D120: 0.432*** D240: 0.683*** D60: 0.444	
AIE		Corr: 0.132 D120: 0.380* D240: 0.203 D60: -0.031	Corr: 0.404*** D120: 0.697*** D240: 0.303* D60: 0.278	Corr: 0.674*** D120: 0.743*** D240: 0.615*** D60: 0.741***	Corr: 0.194** D120: -0.002 D240: 0.003 D60: 0.003	Corr: 0.589*** D120: 0.808*** D240: 0.515*** D60: 0.425**	Corr: 0.573*** D120: 0.804*** D240: 0.300* D60: 0.489**	Corr: 0.517*** D120: 0.643*** D240: 0.536*** D60: 0.580***	
DC			Corr: 0.027 D120: -0.264 D240: 0.024 D60: -0.018	Corr: -0.051 D120: -0.056 D240: -0.092 D60: -0.100	Corr: -0.170* D120: -0.381** D240: -0.143 D60: -0.218	Corr: 0.140 D120: 0.038 D240: 0.082 D60: 0.086	Corr: 0.042 D120: -0.108 D240: 0.000 D60: -0.026	Corr: 0.072 D120: -0.076 D240: 0.119 D60: 0.063	
DE				Corr: 0.313*** D120: 0.596*** D240: 0.192 D60: 0.224	Corr: 0.584*** D120: 0.825*** D240: 0.870*** D60: 0.590***	Corr: 0.627*** D120: 0.743*** D240: 0.670*** D60: 0.495***	Corr: 0.630*** D120: 0.775*** D240: 0.637*** D60: 0.592***	Corr: 0.292*** D120: 0.574*** D240: 0.278 D60: 0.212	
CE					Corr: 0.041 D120: 0.082 D240: -0.167 D60: -0.103	Corr: 0.613*** D120: 0.718*** D240: 0.643*** D60: 0.803***	Corr: 0.518*** D120: 0.720*** D240: 0.489*** D60: 0.474	Corr: 0.511*** D120: 0.730*** D240: 0.572*** D60: 0.463***	
NF						Corr: 0.308*** D120: 0.368 D240: 0.289* D60: 0.194	Corr: 0.629*** D120: 0.838*** D240: 0.652*** D60: 0.553***	Corr: 0.149* D120: 0.364 D240: 0.143 D60: 0.101	
NGF							Corr: 0.856*** D120: 0.843*** D240: 0.861*** D60: 0.770***	Corr: 0.435*** D120: 0.283 D240: 0.387** D60: 0.395**	
GT								Corr: 0.452*** D120: 0.695*** D240: 0.407** D60: 0.448**	

Figura. 3. Correlação de Pearson para a relação entre as variáveis altura de planta (AP, m), altura de inserção da espiga (AIE, m), diâmetro de colmo (DC, cm), diâmetro da espiga (DE, cm), comprimento da espiga (CE, cm), número de fileira de grãos (NF), número de grãos por fileira (NGF), total de grãos na espiga (GT) e produtividade (Prod, kg ha⁻¹) de acordo com as doses de nitrogênio.

Nesta matriz de correlação de Pearson (Fig. 4), a produtividade apresentou correlações positivas mais consistentes com altura de planta (AP), altura de inserção da espiga (AIE), comprimento da espiga (CE), número de grãos por fileira (NGF) e total de grãos na espiga (GT). Isso indica que esses caracteres estiveram mais associados ao desempenho produtivo.

AIE	DC	DE	CE	NF	NGF	GT	Prod	
Corr: 0.895*** 3DP: 0.957*** DP: 0.726*** sem: 0.937***	Corr: 0.194** 3DP: 0.419*** DP: 0.447*** sem: 0.037	Corr: 0.413*** 3DP: 0.572*** DP: 0.500*** sem: 0.263*	Corr: 0.731*** 3DP: 0.757*** DP: 0.661*** sem: 0.792***	Corr: 0.154* 3DP: 0.188 DP: 0.056 sem: 0.147	Corr: 0.683*** 3DP: 0.778*** DP: 0.685*** sem: 0.632***	Corr: 0.628*** 3DP: 0.706*** DP: 0.544*** sem: 0.609***	Corr: 0.545*** 3DP: 0.363** DP: 0.567*** sem: 0.735***	ALT
	Corr: 0.132 3DP: 0.431*** DP: 0.300* sem: 0.002	Corr: 0.404*** 3DP: 0.530*** DP: 0.510*** sem: 0.259*	Corr: 0.674*** 3DP: 0.704*** DP: 0.607*** sem: 0.767***	Corr: 0.194** 3DP: 0.166 DP: 0.171 sem: 0.162	Corr: 0.589*** 3DP: 0.730*** DP: 0.513*** sem: 0.591***	Corr: 0.573*** 3DP: 0.657*** DP: 0.495*** sem: 0.578***	Corr: 0.517*** 3DP: 0.307* DP: 0.629*** sem: 0.710***	AIE
		Corr: 0.027 3DP: 0.169 DP: 0.094 sem: -0.028	Corr: -0.051 3DP: -0.038 DP: 0.078 sem: -0.123	Corr: -0.170* 3DP: -0.257* DP: -0.160 sem: -0.158	Corr: 0.140 3DP: 0.215 DP: 0.263* sem: 0.065	Corr: 0.042 3DP: 0.028 DP: 0.212 sem: -0.013	Corr: 0.072 3DP: -0.115 DP: 0.196 sem: 0.119	DC
			Corr: 0.313*** 3DP: 0.462*** DP: 0.363** sem: 0.217.	Corr: 0.584*** 3DP: 0.588*** DP: 0.467*** sem: 0.652***	Corr: 0.627*** 3DP: 0.746*** DP: 0.525*** sem: 0.682***	Corr: 0.630*** 3DP: 0.717*** DP: 0.601*** sem: 0.631***	Corr: 0.292*** 3DP: 0.277* DP: 0.442*** sem: 0.252*	DE
				Corr: 0.041 3DP: 0.073 DP: -0.043 sem: 0.105	Corr: 0.613*** 3DP: 0.662*** DP: 0.568*** sem: 0.597***	Corr: 0.518*** 3DP: 0.585*** DP: 0.443*** sem: 0.516***	Corr: 0.511*** 3DP: 0.296* DP: 0.575*** sem: 0.739***	CE
					Corr: 0.308*** 3DP: 0.339** DP: 0.213. sem: 0.431***	Corr: 0.629*** 3DP: 0.594*** DP: 0.663*** sem: 0.670***	Corr: 0.149* 3DP: 0.231. DP: 0.054 sem: 0.135	NF
						Corr: 0.856*** 3DP: 0.929*** DP: 0.733*** sem: 0.881***	Corr: 0.435*** 3DP: 0.317* DP: 0.490*** sem: 0.579***	NGF
							Corr: 0.452*** 3DP: 0.390** DP: 0.410*** sem: 0.582***	GT

Figura. 4. Correlação de Pearson para a relação entre as variáveis altura de planta (AP, m), altura de inserção da espiga (AIE, m), diâmetro de colmo (DC, cm), diâmetro da espiga (DE, cm), comprimento da espiga (CE, cm), número de fileira de grãos (NF), número de grãos por fileira (NGF), total de grãos na espiga (GT) e produtividade (Prod, kg ha⁻¹) de acordo com as doses de inoculação.

4) DISCUSSÃO

Os tratamentos com 120 e 240 kg ha⁻¹ de nitrogênio apresentaram associação com o número de fileiras de grãos (NF) e o diâmetro do colmo (DC) (Figura. 1), assim como foi observado por (Gheith et al., 2022) no aumento do número de fileiras de grãos (NFG) em plantas de milho em resposta à aplicação de diferentes doses de nitrogênio, e no aumento do diâmetro do colmo (DC) em milho submetido a diferentes taxas de nitrogênio (Ferrari et al., 2025). Esses efeitos podem estar ligados ao estímulo que o nitrogênio promove sobre o vigor nas fases de desenvolvimento vegetativo, bem como sobre a captura e acúmulo de fotoassimilados, resultando em maior número de grãos por fileira e maior diâmetro de colmo (Rawal et al., 2024). A maior associação à aplicação de nitrogênio na dose 240 kg ha⁻¹ com outras variáveis também pode ser explicada pelo fato de que o nitrogênio exerce maior influência no desenvolvimento das partes vegetativas, ocasionando assim efeitos benéficos na produtividade devido à melhor altura de planta (AP), altura de inserção da espiga (AIE),

diâmetro da espiga (DE), comprimento da espiga (CE), número de grãos por fileira (NGF) e total de grãos na espiga (GT) (Gheith et al., 2022). A partir disso, a utilização de nitrogênio, nas doses de 120 e 240 kg ha⁻¹, pode contribuir para variáveis fitotécnicas da cultura de milho.

A correlação positiva entre a altura de planta e as variáveis avaliadas demonstra que plantas com maior porte, geralmente associadas a maior vigor vegetativo, tendem a apresentar maiores valores para características relacionadas aos componentes de rendimento, como comprimento da espiga, número de grãos por fileira, número total de grãos por espiga e, conseqüentemente, a maiores níveis de produtividade de grãos, de acordo com o potencial genético da variedade (Dauldzhiev et al., 2025).

A inoculação com *Azospirillum brasilense* influenciou o conjunto de parâmetros agrônômicos avaliados, evidenciando a ação biológica da bactéria sobre o crescimento e o desenvolvimento do milho (Figura 2), e os tratamentos distribuíram-se de maneira distinta em relação aos atributos morfológicos e produtivos, indicando que a intensidade da resposta variou conforme o parâmetro considerado. Tal comportamento reforça que a ação de *Azospirillum brasilense* se relaciona principalmente à modulação morfofisiológica da planta, por meio da síntese de fitormônios, que estimulam o sistema radicular e melhora a eficiência na absorção de água e nutrientes, mecanismos que, em conjunto, favorecem o crescimento vegetativo e podem refletir-se nos componentes de rendimento (Giri et al., 2025; Marques et al., 2023).

Além da ação direta sobre a fisiologia da planta, a expressão dos efeitos da inoculação está condicionada à interação de *Azospirillum brasilense* com a microbiota nativa do solo. A promoção de crescimento tende a ser mais expressiva quando a diversidade microbiana é reduzida e menos evidente em solos cuja comunidade nativa já se encontra plenamente estabelecida (Ferrarezi et al., 2023). Nesse contexto, as populações introduzidas de *Azospirillum brasilense* podem perturbar temporariamente a comunidade bacteriana do solo, que tende a retornar à sua composição original ao longo do ciclo, sendo a bactéria gradualmente substituída por táxons nativos à medida que a cultura se desenvolve (Pedrinho et al., 2024). Dessa forma, em solos com comunidade microbiana diversa e estável, a magnitude dos efeitos promotores de crescimento tende a ser mais discreta, ainda que a ação biológica de *Azospirillum brasilense* permaneça detectável sobre o conjunto de atributos avaliados.

Os resultados obtidos contribuem para a compreensão da variabilidade de respostas à inoculação com *Azospirillum brasilense* em diferentes condições edafoclimáticas e sistemas de cultivo. Dessa forma, este trabalho sugere futuras pesquisas voltadas à elucidação dos fatores

que influenciam a eficiência dessa bactéria em distintas regiões, tipos de solo e materiais genéticos.

5) CONCLUSÃO

A inoculação com *Azospirillum brasilense* influenciou positivamente as características morfológicas do milho como AP, AIE, NF, GT, DC, e GT. Esses achados evidenciaram o potencial e a ação biológica da bactéria sobre o crescimento e o desenvolvimento da cultura ao longo de duas safras.

REFERÊNCIAS

- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., De Moraes Gonçalves, J. L., & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- CONAB. (2025). Boletim da Safra de Grãos – 2025. In *Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB)* (Vol. 11, Number 2318 6852). <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-cana-de-acucar/arquivos-boletins/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>
- Condori, T., Alarcón, S., Huasasquiche, L., García-Blásquez, C., Padilla-Castro, C., Velásquez, J., & Solórzano, R. (2024). Inoculation with *Azospirillum brasilense* as a Strategy to Reduce Nitrogen Fertilization in Cultivating Purple Maize (*Zea mays* L.) in the Inter-Andean Valleys of Peru. *Microorganisms*, 12(10), 2107. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12102107>
- Cruz, C. D. (2013). GENES - Software para análise de dados em estatística experimental e em genética quantitativa. *Acta Scientiarum - Agronomy*, 35(3), 271–276. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v35i3.21251>
- Dauldzhiyev, P., Garkov, N., & Neshev, N. (2025). statistical analysis of the impact of mineral nitrogen and phosphorus fertilization on productive and morphological traits in maize (*Zea mays* l.) grown as monoculture. *Agricultural University-Plovdiv, Scientific Works, LXVII*, 2025. <https://doi.org/10.22620/sciworks.2025.01.008>
- EPE. (2025). *PDE 2035 | Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2035*. www.epe.gov.br
- Ferrarezi, J. A., Defant, H., de Souza, L. F., Azevedo, J. L., Hungria, M., & Quecine, M. C. (2023). Meta-omics integration approach reveals the effect of soil native microbiome diversity in the performance of inoculant *Azospirillum brasilense*. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1172839. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2023.1172839/TEXT>
- Ferrari, F. S., Rosa, G. B. da, Santos, E. D. dos, Marques, A. C. R., Monteiro, E. C., & Follmann, D. N. (2025). Morphological changes in maize subjected to different nitrogen rates in a low-altitude subtropical environment. *Observatório de La Economía Latinoamericana*, 23(4), e9718. <https://doi.org/10.55905/oelv23n4-165>
- França, S., Mielniczuk, J., Rosa, L. M. G., Bergamaschi, H., & Bergonci, J. I. (2011). Nitrogênio disponível ao milho: crescimento, absorção e rendimento de grãos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15(11), 1143–1151. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011001100006>

- Gao, H., Wang, G., Fan, Y., Wu, J., Yao, M., Zhu, X., Guo, X., Long, B., & Zhao, J. (2024). Tracing groundwater nitrate sources in an intensive agricultural region integrated of a self-organizing map and end-member mixing model tool. *Scientific Reports*, *14*(1), 16873-. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-67735-x>
- Gheith, E. M. S., El-Badry, O. Z., Lamloom, S. F., Ali, H. M., Siddiqui, M. H., Ghareeb, R. Y., El-Sheikh, M. H., Jebril, J., Abdelsalam, N. R., & Kandil, E. E. (2022). Maize (*Zea mays* L.) Productivity and Nitrogen Use Efficiency in Response to Nitrogen Application Levels and Time. *Frontiers in Plant Science*, *13*. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2022.941343/PDF>
- 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 2025*, *Vol. 4*, 4(3). <https://doi.org/10.3390/BACTERIA4030036>
- Hina, N. S. (2024). Global Meta-Analysis of Nitrate Leaching Vulnerability in Synthetic and Organic Fertilizers over the Past Four Decades. *Water (Switzerland)*, *16*(3), 457. <https://doi.org/10.3390/w16030457>
- Hungria, M., Barbosa, J. Z., Rondina, A. B. L., & Nogueira, M. A. (2022). Improving maize sustainability with partial replacement of N fertilizers by inoculation with *Azospirillum brasilense*. *Agronomy Journal*, *114*(5), 2969–2980. <https://doi.org/10.1002/agj2.21150>
- Malavolta, E. (1980). *Elementos de nutrição mineral das plantas*. Agronômica Ceres.
- Marques, D. M., Magalhães, P. C., Marriel, I. E., Silva, A. B. da, Almeida, L. G., & Souza, T. C. de. (2023). *Azospirillum brasilense* inoculation improves the morphophysiological aspects of maize in soils with high and low nitrogen contents: maize inoculated with *A. brasilense* under nitrogen variation. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, *22*. <https://doi.org/10.18512/rbms2024v23e1356>
- Menegat, S., Ledo, A., & Tirado, R. (2022). Greenhouse gas emissions from global production and use of nitrogen synthetic fertilisers in agriculture. *Scientific Reports*, *12*(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18773-w>
- Pedrinho, A., Mendes, L. W., do Rêgo Barros, F. M., Bossolani, J. W., Kühn, T. N., Quecine, M. C., & Andreote, F. D. (2024). The interplay between *Azospirillum brasilense* and the native bacterial communities in the soil and rhizosphere of maize (*Zea mays* L.). *Soil Biology and Biochemistry*, *189*, 109292. <https://doi.org/10.1016/J.SOILBIO.2023.109292>
- R CORE TEAM. (2013). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. <https://www.r-project.org/>

- Rawal, N., Vista, S. P., Khadka, D., & Paneru, P. (2024). Grain Yield, Nitrogen Accumulation, and Its Use Efficiency of Maize (*Zea mays* L.) as Influenced by Varying Nitrogen Rates. *International Journal of Agronomy*, 2024(1), 4104123. <https://doi.org/10.1155/2024/4104123>
- Santos Junior, Dos, J. de D. G., SOUZA, K. W. de, RAMOS, N. P., SILVA, C. J. da, CORREIA, N. M., MAY, A., & KINPARA, D. I. (2020). *Consórcio de cana-de-açúcar com milho: recomendações de manejo para a região do Cerrado*. <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1127456>
- Santos, W. de M., Alves, B. J. R., Urquiaga, S., Pacheco, E. P., de Barros, I., Fernandes, M. F., Batista, J. N., Bender, E. P., de Souza, H. N., & Jantalia, C. P. (2020). Ammonia volatilization and yield of corn fertilized with different nitrogen sources in the Brazilian semiarid. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 55, e01036. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.PAB2020.V55.01036>
- Scott, A. J., & Knott, M. (1974). A Cluster Analysis Method for Grouping Means in the Analysis of Variance. *Biometrics*, 30(3), 507. <https://doi.org/10.2307/2529204>
- Silva, E. C., Buzetti, S., & Lazarini, E. (2005, December 30). Aspectos Econômicos da Adubação Nitrogenada na Cultura do Milho em Sistema de Plantio Direto. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 4(3), 286–297. <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v4n3p286-297>
- Silva, P. S. T., Garcia, N. S., Galindo, F. S., Arf, O., Nogueira, T. A. R., Jani, A. D., & Cassiolato, A. M. R. (2024). *Azospirillum brasilense* Inoculation in a Maize–Urochloa–Rice Cropping System Promotes Soil Chemical and Biological Changes and Increases Productivity. *Crops*, 4(2), 211–226. <https://doi.org/10.3390/crops4020016>
- Takeda, N., Friedl, J., Kirkby, R., Rowlings, D., Scheer, C., De Rosa, D., & Grace, P. (2023). Denitrification Losses in Response to N Fertilizer Rates—Integrating High Temporal Resolution N₂O, In Situ ¹⁵N₂O and ¹⁵N₂ Measurements and Fertilizer ¹⁵N Recoveries in Intensive Sugarcane Systems. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 128(9), e2023JG007391. <https://doi.org/10.1029/2023JG007391>