

Aplicação foliar de *Methylobacterium symbioticum* SB23, *Azospirillum brasilense* e CoMoNi na cultura do milho

Bruno João Bonotto^{1*}, Luiz Júnior Perini¹

¹ Curso de Agronomia, Centro Universitário Assis Gurgacz (FAG), Cascavel, Paraná.

^{1*} b.bonotto@outlook.com

Resumo: O presente estudo tem como objetivo avaliar o desempenho agrônomo da cultura do milho por meio da aplicação foliar de *Methylobacterium symbioticum* SB23, *Azospirillum brasilense* (AbV5) e CoMoNi. O experimento foi conduzido em uma propriedade particular no município de Espigão Alto do Iguaçu-PR. O delineamento experimental empregado foi em blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial, com quatro repetições. Os tratamentos foram, testemunha, inoculação e coinoculação de *Methylobacterium symbioticum* e *Azospirillum brasilense* (AbV5), ausência e presença de CoMoNi. As variáveis analisadas foram: altura de plantas, altura de espigas, número de fileiras por espiga, número de grãos por espiga, massa de mil grãos e produtividade de grãos. Os dados foram submetidos a análise de variância (ANAVA), e as médias comparadas pelo teste de significância. Diferenças estatísticas foram observadas para as características comprimento de espiga, número de grãos por fileira, número de grãos por espiga e rendimento de grãos. O tratamento com *Methylobacterium symbioticum* (SB23)+CoMoNi apresentou maior média de produtividade. A aplicação foliar de *Methylobacterium symbioticum* (SB23), *Azospirillum brasilense* (AbV5) e CoMoNi, isolados ou em associação promoveram o aumento do desempenho agrônomo na cultura do milho. O emprego de *Methylobacterium symbioticum* (SB23) associada aos micronutrientes cobalto, molibdênio e níquel promoveu o aumento da produtividade na cultura do milho.

Palavras-chave: *Zea mays* L.; Produtividade de grãos; Agricultura regenerativa; Nutrição de plantas.

Agronomic Performance of Maize Cultivation with the Application of Nitrogen-Fixing Bacteria and CoMoNi

Abstract: The present study aims to evaluate the agronomic performance of maize through foliar application of *Methylobacterium symbioticum* SB23, *Azospirillum brasilense* (AbV5), and CoMoNi. The experiment was conducted on a private property in the municipality of Espigão Alto do Iguaçu, Paraná State, Brazil. The experimental design used was a randomized block design (RBD), arranged in a factorial scheme with four replications. The treatments consisted of the control, inoculation and co-inoculation of *Methylobacterium symbioticum* and *Azospirillum brasilense* (AbV5), and the absence or presence of CoMoNi. The variables analyzed were plant height, ear height, number of rows per ear, number of kernels per ear, thousand-kernel weight, and grain yield. Data were subjected to analysis of variance (ANOVA), and means were compared using a significance test. Statistical differences were observed for ear length, number of kernels per row, number of kernels per ear, and grain yield. The treatment with *Methylobacterium symbioticum* (SB23) + CoMoNi showed the highest average yield. Foliar application of *Methylobacterium symbioticum* (SB23), *Azospirillum brasilense* (AbV5), and CoMoNi, either individually or combined, promoted an increase in the agronomic performance of maize. The use of *Methylobacterium symbioticum* (SB23) associated with the micronutrients cobalt, molybdenum, and nickel enhanced maize grain yield.

Keywords: *Zea mays* L.; Grain yield; Regenerative agriculture; Plant nutrition.

Introdução

A cultura do milho desempenha um papel central na história, na alimentação e no desenvolvimento das sociedades humanas, especialmente nas regiões da América Latina, onde sua domesticação e diversificação ocorreram há milhares de anos. Segundo Guzzon et al. (2021), com o avanço da tecnologia agrícola, esse grão continua a ser uma das principais culturas que impulsionam o desenvolvimento em muitas regiões do mundo.

Os maiores produtores de milho são Estados Unidos, China, Brasil, União Europeia e Argentina, respectivamente (USDA, 2025). O Brasil ocupa o terceiro lugar no ranking mundial com produção de 141 milhões de toneladas na safra 2024/2025. Neste sentido, os cinco estados brasileiros com maior produção são Mato Grosso, Paraná, Goiás, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais, totalizando 90% da produção de milho 2ª safra do país. Aproximadamente 80% da produção de milho nacional é cultivada na 2ª safra. Na última safra a produtividade média foi de 6.499 kg por hectare (CONAB, 2025).

O ambiente de segunda safra apresenta elevados riscos climáticos e estresses para a cultura. Os que trazem as maiores perdas são as baixas disponibilidades hídricas, ocorrência de geadas e restrição de nutrientes. No Cerrado, a distribuição das chuvas é frequentemente irregular, com precipitações restritas e mal distribuídas ao longo da estação chuvosa (Pinheiro et al. 2021; Gonçalves et al. 2008). Portanto, estratégias que contribuem para mitigação de estresses na 2ª safra são indispensáveis para manutenção da produção nacional de milho.

Dentre os estresses, o nutricional pode ser contornado com estratégias de fornecimento de nutrientes. O Nitrogênio, nutriente requerido em maior quantidade pela cultura do milho, é o que apresenta a maior escassez, reduzindo a produtividade das plantas (Zhang et al., 2024). A principal estratégia para o fornecimento deste nutriente é por meio da adubação nitrogenada, porém essa prática apresenta custos elevados e risco de perdas de nitrogênio quando realizada em condições ambientais inadequadas. (Thant et al., 2024).

Neste sentido, estratégias como a utilização de bactérias com capacidade de fixação biológica do nitrogênio, tem se mostrado eficaz para suprir parte da demanda por nitrogênio na cultura. Recentemente, a bactéria *Methylobacterium symbioticum* tem mostrado que pode suprir até 50% da demanda de nitrogênio na cultura do milho. Esta bactéria possui a enzima

nitrogenase, que converte o nitrogênio atmosférico (N_2) em amônia (NH_4^+), dentro dos tecidos da planta, especialmente na folha (De Jesus e Bundt, 2025). Na cultura do milho a bactérias *Azospirillum brasilense* é uma das mais utilizadas para a fixação do nitrogênio. Diversos estudos têm mostrado que o emprego de *Azospirillum brasilense* pode proporcionar incrementos de produtividade de 5 a 15% (Zeffa et al., 2019).

Estratégias como a coinoculação, que consiste na aplicação de duas ou mais bactérias, tem como objetivo potencializar a absorção de nutrientes, promover o crescimento vegetal e aumentos de produtividade. A coinoculação de *Azospirillum brasilense* com bactérias do gênero *Methylobacterium* apresenta potencial para maximizar o fornecimento de nitrogênio por meio da fixação biológica de nitrogênio (Ribeiro et al., 2022).

A FBN na cultura do milho depende de micronutrientes como o Cobalto, Molibdênio e o Níquel. Estes nutrientes auxiliam no metabolismo do nitrogênio, melhoram a fixação biológica, desempenham papel fundamental no metabolismo da ureia, contribuindo para sua conversão e assimilação pelos tecidos vegetais, entre outros (Gomes, 2023; Jarecki et al., 2025). Na literatura, são escassos os trabalhos com emprego de *Methylobacterium symbioticum*, *Azospirillum brasilense* e CoMoNi via foliar.

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho agrônômico da cultura do milho, por meio da aplicação foliar de *Methylobacterium symbioticum* SB23, *Azospirillum brasilense* e CoMoNi.

Material e Métodos

O experimento foi realizado em uma propriedade particular no município de Espigão Alto do Iguaçu, Paraná, com coordenadas de latitude 25°23'43" S e longitude 52°46'39" W. A implantação do experimento ocorreu no dia 21 de janeiro de 2025. A área possui altitude média de 633 metros, com uma precipitação anual de 2.110 mm e uma temperatura média de 20 °C (CLIMATEMPO, 2024). Os solos da região são classificados como Neossolos Litólicos, segundo o conforme o Manual de Solos da Embrapa (EMBRAPA, 2018).

O delineamento experimental empregado foi em blocos casualizados (DBC), sendo os tratamentos dispostos em esquema fatorial, com 4 repetições. Cada parcela experimental, composta por 8 linhas espaçadas em 45 cm, com 3 metros de comprimento. O experimento contou com 4 tratamentos e dois fatores. Tratamento 1: testemunha; Tratamento 2: *Methylobacterium symbioticum* (SB23); Tratamento 3: *Azospirillum brasilense* (AbV5); Tratamento 4: *Methylobacterium symbioticum* (SB23) + *Azospirillum brasilense* (AbV5);

Tratamento 5: *Methylobacterium symbioticum* (SB23) + Cobalto, Molibdênio e Níquel (CoMoNi); Tratamento 6: *Azospirillum brasilense* (AbV5) + CoMoNi; Tratamento 7: *Methylobacterium symbioticum* (SB23) + *Azospirillum brasilense* (AbV5) + CoMoNi; Tratamento 8: (CoMoNi). No estágio V6 por meio da pulverização foliar, aplicou as bactérias e o CoMoNi nos respectivos tratamentos.

Antes da realização do experimento, foram coletadas algumas amostras de solo na profundidade de 0–20 cm, e enviada ao laboratório para análise. Os resultados obtidos foram: fósforo (P) – 5,83 mg/dm³; potássio (K) – 0,95 cmolc/dm³; matéria orgânica – 50,51 g/dm³; pH (em CaCl₂) – 5,4; capacidade de troca de cátions (CTC) – 13,83 cmolc/dm³; pH SMP – 5,9; cálcio – 18,63 cmolc/dm³; magnésio – 3,29 cmolc/dm³; e saturação por bases (V%) – 72,19%.

O milho foi semeado no dia 21 de janeiro de 2025, em uma área com sistema de plantio direto. Para implantação do experimento, utilizou-se uma semeadora Kuhn 1100, com 10 linhas com espaçamento de 45 cm. O cultivar milho foi o híbrido simples Pioneer P3222PWU. Na sulco de semeadura foi aplicada uma dose 371 kg por ha⁻¹ do fertilizante Superbac 10-10-10.

Para o controle de plantas daninhas, foi empregado o herbicida composto por atrazina. Para o manejo de pragas utilizou-se os inseticidas acefato e metomil, nas doses recomendadas. Na fase V4 do milho, realizou-se a pulverização do fungicida composto por propiconazol, em associação com o fertilizante foliar Ngold® (27% de Nitrogênio). No estágio fenológico V7, foi utilizado o fungicida picoxistrobina e ciproconazol, em associação com nitrogênio, cobre e Ngold®.

As seguintes características de importância agrônômica foram mensuradas: altura de espigas (cm), altura de plantas (cm), número de fileiras por espiga, número de grãos por fileira, massa de mil grãos e rendimento de grãos em kg por hectare.

A altura da espiga e a altura da planta foram avaliadas em seis plantas escolhidas aleatoriamente nas quatro linhas centrais de cada parcela, no estágio fenológico R6. Embora alguns trabalhos utilizem dez plantas, a avaliação de seis plantas foi suficiente para representar a variabilidade da parcela e garantir precisão nas análises, sem comprometer a consistência dos resultados. Altura da espiga medida a partir superfície do solo até o ponto de inserção da espiga na planta expressa em centímetros. Altura da planta do solo até inserção da inflorescência masculina “Pendão”.

A produtividade foi avaliada nas quatro linhas centrais de cada parcela, considerando-se 2 metros de comprimento por linha. A área útil colhida correspondeu a 3,6 m² por parcela. As espigas foram colhidas manualmente e debulhadas também de forma manual. A pesagem dos

grãos foi realizada com o auxílio de uma balança, e os dados corrigidos para 13 % de umidade, sendo posteriormente convertidos para produtividade em kg ha⁻¹.

A massa de mil grãos foi determinada a partir de quatro amostras contendo 1.000 grãos cada. Após a colheita, as espigas foram debulhadas manualmente, e os grãos passaram por peneiramento e limpeza para a remoção de impurezas. Em seguida, cada amostra foi pesada em balança digital, obtendo-se a massa em gramas.. Em seguida, os valores foram corrigidos para 13 % de umidade dos grãos. O número de fileiras por espiga e o número de grãos por fileira foram analisados aproximadamente em 8 espigas, colhidas aleatoriamente durante a colheita.

Os dados obtidos foram inicialmente submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk. Após a confirmação da normalidade, realizou-se a análise de variância (ANAVA) para avaliação dos efeitos dos tratamentos. Por meio do teste de Tukey as diferenças entre médias foram comparadas ao nível de significância de 5 %. Todas as análises estatísticas foram conduzidas com o auxílio do software SISVAR. (Ferreira, 2014).

Resultados e Discussão

Por meio da análise de variância, foi observado efeito significativo para os tratamentos comprimento de espiga, número de grãos por fileira, número de grãos por espiga e rendimento de grãos (Tabela 1). O coeficiente de variação (CV) apresentou valores classificados como baixos a médios, variando de 2,56% (altura de planta) a 15,13% (altura da espiga). Segundo Ferreira (2012), valores de CV inferiores a 20% indicam boa precisão experimental em estudos agronômicos, demonstrando homogeneidade e confiabilidade dos dados obtidos.

Tabela 1 – Análise de variância para oito características agronômicas avaliadas em diferentes tratamentos de inoculação, no município de Espigão Alto do Iguaçu – PR, 2025.

FV	Quadrado médio							
	CE	ALE	ALP	NFE	NGF	NGE	MMG	RG
Blocos	1,52	325,06	17,37	0,65	10,32	1314,80	186,40	423114,37
Tratamentos	2,18*	383,79 ^{ns}	15,74 ^{ns}	0,49 ^{ns}	21,05*	5004,73*	170,98 ^{ns}	1135177*
Resíduo	0,79	264,40	29,63	0,81	7,32	1574,19	126,93	318671,54
Média	13,95	107,51	212,52	14,41	31,84	458,88	348,44	8804,94
CV(%)	6,39	15,13	2,56	6,28	8,50	8,65	3,23	6,41

CE = Comprimento/Espiga (cm); ALE = Altura Espiga (cm); ALP = Altura Planta (cm); NFE = Número de fileira grão por espiga; NGF = Número de grãos por fileira; MGE = Número de Grãos/Espiga; MMG = Massa de Mil Grãos; RG = Rendimento de grãos em kg há⁻¹.

Para a característica comprimento da espiga (tabela 2), o tratamento *Methylobacterium symbioticum* (SB23)+CoMoNi apresentou diferença em relação a testemunha. A testemunha obteve o menor valor, sendo estatisticamente inferior. Os demais tratamentos apresentaram valores intermediários, sem diferença significativa entre si. Os autores De Jesus Santos e Bundt (2025) verificaram aumento no comprimento de espigas de milho ao utilizar *Methylobacterium symbioticum* (SB23). Resultados semelhantes foram observados por Souza et al. (2018), que relataram tendência de aumento no comprimento de espiga em plantas de milho inoculadas com *Azospirillum brasilense*, embora sem diferença estatística significativa. Segundo os autores, esse comportamento pode estar relacionado ao melhor desenvolvimento radicular e aproveitamento de nutrientes, ainda que o efeito direto sobre o comprimento da espiga tenha sido limitado.

Tabela 2 – Comparação entre médias por meio do teste de Tukey, para oito características agrônomicas avaliadas em diferentes tratamentos de inoculação, no município de Espigão Alto do Iguaçu – PR, 2025.

Tratamentos	CE	ALE	ALP	NFE	NGF	NGE	MMG	RG	%RG
Testemunha	12,6b	111,0a	211,4a	14,8a	28,3b	412,1b	342,5a	7968,7b	0%
Ms (SB23)*	14,3ab	83,4a	211,4a	14,4a	32,6ab	474,3ab	340a	9028,5ab	13,3%
AzB (AbV5)	13,6ab	112,6a	210,3a	13,8a	29,9ab	419,4ab	347,5a	8300,7ab	4,1%
Ms (SB23) + AzB (AbV5)	14,6ab	109,8a	215,4a	14,1a	33,9ab	481,1ab	345a	8999,5ab	12,9%
Ms (SB23) + CoMoNi	14,9a	111,1a	214,1a	14,4a	35,2a	512,7a	360a	9455,0a	18,6%
Ms(SB23)+AzB+CoMoNi	13,9ab	109,3a	212,4a	14,7a	31,5ab	466,6ab	350a	9260,5ab	16,2%
CoMoNi	13,3ab	112,6a	210,3a	14,1a	30,1ab	427,4ab	347,5a	8327,0ab	4,5%

* Ms (SB23) = *Methylobacterium symbioticum* (SB23); AzB (AbV5) = *Azospirillum brasilense* (AbV5); CoMoNi = Cobalto, Molibdênio e Níquel; CE = Comprimento/Espiga (cm); ALE = Altura Espiga (cm); ALP = Altura Planta (cm); NFE = Número de fileira grão por espiga; NGF = Número de grãos por fileira; MGE = Número de Grãos/Espiga; MMG = Massa de Mil Grãos; RG = Rendimento de grãos em kg há⁻¹; %RG = Porcentagem de rendimento de grãos em relação ao tratamento testemunha; CV (%) = coeficiente de variação.

As características altura da espiga, altura de planta e número de fileiras por espiga, não foram observadas diferenças entre as médias dos tratamentos. Esse comportamento está de acordo com Alves et al. (2021) e Andrade et al. (2019), que também não observaram efeitos significativos da inoculação com *A. brasilense* sobre a altura de plantas e a altura de inserção da espiga, sugerindo que tais variáveis são pouco sensíveis à inoculação, especialmente quando o solo apresenta boa disponibilidade de nutrientes.

Para a variável média de grãos por fileira e número de grãos por espiga, o tratamento *Methylobacterium symbioticum* (SB23)+CoMoNi apresentou diferença em relação a testemunha. De forma semelhante, Feltz et al. (2022) observaram que a inoculação com *A.*

brasilense pode influenciar o número de grãos por fileira, dependendo das condições de manejo e da disponibilidade de nitrogênio, embora nem sempre os efeitos sejam estatisticamente significativos. Esse resultado está de acordo com Oliveira et al. (2019), que relataram tendência de incremento no número de grãos por espiga em plantas de milho inoculadas, atribuindo esse efeito à maior eficiência no uso de nitrogênio e à promoção do crescimento vegetal proporcionada pelas bactérias diazotróficas, microrganismos capazes de fixar nitrogênio atmosférico e produzir compostos que estimulam o crescimento vegetal.

No caso da massa de mil grãos, não foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos, indicando que as inoculações não influenciaram esse parâmetro. Tal resultado é coerente com os resultados de Feltz et al. (2022) e Andrade et al. (2019), que também não verificaram efeito significativo da inoculação sobre a massa de mil grãos de milho, destacando que essa variável depende fortemente das condições climáticas e do enchimento de grãos, mais do que da inoculação.

Por fim, para a característica rendimento de grãos o tratamento *Methylobacterium symbioticum* (SB23)+CoMoNi apresentou diferença estatística da testemunha. Uma pesquisa recente realizada por De Jesus Santos e Bundt (2025) em diferentes regiões do Brasil, por meio da aplicação foliar de *Methylobacterium symbioticum* (SB23), apresentou aumentos significativos na produtividade de grãos. Estes resultados reforçam o potencial da aplicação foliar de *Methylobacterium symbioticum* (SB23) para promover o aumento da produtividade na cultura do milho em regiões como a do Paraná.

Com base nos valores de rendimento de grãos em relação ao tratamento testemunha, verificou-se que todos os tratamentos apresentaram incremento percentual, variando de 4,17% a 18,65%. Os incrementos observados nos tratamentos *Methylobacterium symbioticum* (SB23)+CoMoNi (+18,65%), seguido por *Azospirillum brasilense* (AbV5)+CoMoNi (+16,21%) e *Methylobacterium symbioticum* (SB23) + *Azospirillum brasilense* (AbV5)+CoMoNi (+14,19%). Esses valores reforçam que, embora nem todos os tratamentos tenham diferido estatisticamente, a inoculação promoveu ganhos produtivos relevantes, especialmente quando associada aos micronutrientes Co, Mo e Ni. Os autores Hu et al. (2021) propõem que o cobalto (Co) não é apenas um elemento benéfico, mas pode ser considerado um micronutriente essencial para as plantas. De forma complementar, Moreira et al. (2025) observaram que plantas nutridas com molibdênio (Mo) acumularam maior quantidade de

nitrogênio e biomassa, sugerindo que o Mo facilita a assimilação de nitrato (NO_3^-) e contribui para o crescimento vegetal.

Além disso, o níquel (Ni) também se mostrou importante para a nutrição do milho. Tang et al. (2025) verificaram que o Ni aumenta a tolerância das plantas ao estresse hídrico, promovendo maior acúmulo de biomassa e maior teor relativo de água. Esses achados reforçam a importância de micronutrientes como Co, Mo e Ni para a eficiência nutricional, crescimento e adaptação das plantas a condições ambientais adversas.

Conclusões

aplicação foliar de *Methylobacterium symbioticum* (SB23), *Azospirillum brasilense* (AbV5) e CoMoNi, isolados ou em associação, promoveu o aumento do desempenho do milho, ou seja, contribuiu para o melhor desenvolvimento das plantas e para a produtividade da cultura.

O emprego de *Methylobacterium symbioticum* (SB23) associada aos micronutrientes cobalto, molibdênio e níquel promoveu o aumento da produtividade na cultura do milho.

Referências

ALVES, G. C. S.; LIMA, F. R.; SOUZA, T. M.; SILVA, R. P.; MORAES, L. F. Inoculação de sementes de milho com *Azospirillum brasilense* em diferentes manejos de adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 15, n. 3, p. 1–7, 2021.

ANDRADE, L. M. C.; SILVA, R. F.; OLIVEIRA, J. S.; GONÇALVES, P. M.; ALMEIDA, C. H. Modos de inoculação de *Azospirillum brasilense* em milho e sorgo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 49, e53027, 2019.

CLIMATEMPO. Climatologia em Espigão Alto do Iguaçu – PR, 2025. Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/previsao-do-tempo/cidade/4950/espigaoaltoiguacu-pr>. Acesso em: 07 abr. 2025.

CONAB. Conab estima safra de grãos acima de 328 milhões de toneladas. **Agência Brasil**, 2025. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2025-03/conab-estima-safra-de-graos-acima-de-328-milhoes-de-toneladas>. Acesso em: 17 mar. 2025.

DE JESUS SANTOS, Adailson Feitoza; BUNDT, Angela Da Cas. Foliar inoculation with *Methylobacterium symbioticum* SB23 enhances nitrogen fixation and maize productivity under different edaphoclimatic conditions. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 20, n. 2, p. e4182-e4182, 2025.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

FELTZ, C. R.; SILVA, T. L.; OLIVEIRA, M. A.; SANTOS, F. J.; PEREIRA, L. F. Produtividade de milho inoculado com *Azospirillum brasilense* e diferentes doses de nitrogênio. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v. 20, n. 1, p. 1–10, 2022.

FERREIRA, D. F. *Estatística Experimental*. 3. ed. Lavras: UFLA, 2012. 664 p.

FERREIRA, D. F. Sisvar: A guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 2, 2014.

GOMES, Márcia Letícia Monteiro. Interação níquel e nitrogênio em plantas de milho. 2023. Dissertação (Mestrado em Agronomia) — Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Chapadão do Sul, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufms.br>.

GONÇALVES, Sergio L.; SILVA, R. C.; ALMEIDA, F. R.; PEREIRA, J. S. Épocas de semeadura do milho “safrinha”, no Estado do Paraná, com menores riscos climáticos. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 24, n. 5, p. 1287-1290, 2002.

GUZZON, Filippo; MOREIRA, L. A.; PEREIRA, R. M.; SILVA, T. F.; OLIVEIRA, A. L. Conservation and use of Latin American maize diversity: Pillar of nutrition security and cultural heritage of humanity. **Agronomy**, v. 11, n. 1, p. 172, 2021.

HU, Xiu; LI, Y.; WANG, J.; ZHANG, H.; LIU, P. Cobalt: an essential micronutrient for plant growth?. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 768523, 2021.

JARECKI, Wacław; KOWALSKI, P.; NOWAK, M.; WILK, R.; ZIELIŃSKI, T. The effect of foliar micronutrient fertilization on yield and nutritional quality of maize grain. **Agronomy**, v. 15, n. 8, p. 1859, 2025.

MOREIRA, Lílian A.; SILVA, T. R.; OLIVEIRA, F. M.; SANTOS, A. J.; PEREIRA, R. M. Molybdenum supply increases ¹⁵N-nitrate uptake by maize. **Frontiers in Plant Science**, v. 16, p. 1546132, 2025.

OLIVEIRA, J. S.; SILVA, T. F.; PEREIRA, L. F.; GOMES, M. A.; ALMEIDA, F. R. *Azospirillum brasilense* inoculation and management of nitrogen fertilizer in maize. **Revista de Agricultura**, v. 94, n. 3, p. 270–283, 2019.

PINHEIRO, Daniel T.; SILVA, R. C.; OLIVEIRA, M. A.; SANTOS, F. J.; PEREIRA, L. F. Closing the gap: Sustainable intensification implications of increased corn yields and quality for second-crop (safrinha) in Mato Grosso, Brazil. **Sustainability**, v. 13, n. 23, p. 13325, 2021.

RIBEIRO, Vitória Palhares; OLIVEIRA, M. A.; SANTOS, F. J.; PEREIRA, L. F.; GONÇALVES, R. R. Co-inoculation with tropical strains of *Azospirillum* and *Bacillus* is more efficient than single inoculation for improving plant growth and nutrient uptake in maize. **Archives of Microbiology**, v. 204, n. 2, p. 143, 2022.

SOUZA, R. A.; SILVA, T. R.; PEREIRA, L. F.; OLIVEIRA, J. S. Resposta da inoculação com *Azospirillum brasilense* associada a doses de nitrogênio na cultura do milho. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 17, n. 3, p. 308–313, 2018.

TANG, Yuying; LI, J.; WANG, H.; ZHANG, L.; CHEN, P. Enhancing maize stress tolerance with nickel ferrite nanoparticles: a sustainable approach to combat abiotic stresses. **Environmental Science: Nano**, v. 12, n. 1, p. 302–314, 2025.

THANT, Khaing Phoo; LIN, S.; HLAING, M.; OO, T.; WIN, Z. Effects of nitrogen fertilizer rates on yield and yield components of maize (*Zea mays* L.). **Asian Soil Research Journal**, v. 8, n. 2, p. 1–8, 2024.

ZEFFA, Douglas Mariani; SILVA, T. R.; OLIVEIRA, M. A.; PEREIRA, L. F.; SANTOS, F. J. *Azospirillum brasilense* promotes increases in growth and nitrogen use efficiency of maize genotypes. **Plos One**, v. 14, n. 4, p. e0215332, 2019.

ZHANG, Bing; LIU, Y.; WANG, H.; CHEN, P.; ZHANG, L. Deciphering nitrogen stress responses in maize rhizospheres: Comparative transcriptomics of monocropping and intercropping systems. **Agronomy**, v. 14, n. 11, p. 2554, 2024.