

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta
Tese será disponibilizado somente
a partir de 27/11/2026

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**EFICIÊNCIA DO USO DE *Azospirillum brasilense* NA
CULTURA DO MILHO EM SISTEMAS DE CULTIVO SOBRE
PALHADAS DE LEGUMINOSAS E GRAMÍNEAS**

Guilherme Amâncio Vieira Grunewald

Engenheiro Agrônomo

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EFICIÊNCIA DO USO DE *Azospirillum brasilense* NA
CULTURA DO MILHO EM SISTEMAS DE CULTIVO SOBRE
PALHADAS DE LEGUMINOSAS E GRAMÍNEAS**

**Discente: Guilherme Amâncio Vieira
Grunewald**

Orientador: Dr. Gustavo Vitti Moro

**Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias - Unesp, Câmpus de
Jaboticabal, como parte das exigências para a
obtenção do título de Doutor em Agronomia
(Genética e Melhoramento de Plantas)**

2025

G891e

Grunewald, Guilherme Amâncio Vieira

Eficiência do uso de Azospirillum Brasilense na cultura do milho em sistemas de cultivo sobre palhadas de leguminosas e gramíneas / Guilherme Amâncio Vieira Grunewald. -- Jaboticabal, 2026

72 p. : tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: Gustavo Vitti Mõro

1. Seleção de plantas Melhoramento genético. 2. Azospirillum. 3. Hybrid corn. 4. Crop rotation. I. Título.

Impacto potencial desta pesquisa

Esta pesquisa contribui para a sociedade ao gerar conhecimento sobre alternativas mais eficientes e sustentáveis para a produção de milho, com potencial para reduzir a dependência de fertilizantes nitrogenados minerais, diminuir custos de produção e promover melhor aproveitamento de recursos biológicos no sistema agrícola. Além disso, os resultados podem auxiliar no desenvolvimento de práticas de manejo mais produtivas e ambientalmente responsáveis, beneficiando produtores, a economia agrícola e a sustentabilidade dos sistemas de cultivo.

Potential Impact of This Research

This research contributes to society by generating knowledge about more efficient and sustainable alternatives for maize production, with the potential to reduce dependence on mineral nitrogen fertilizers, lower production costs, and promote better use of biological resources in agricultural systems. In addition, the results may support the development of more productive and environmentally responsible management practices, benefiting farmers, the agricultural economy, and the sustainability of cropping systems.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**TÍTULO DA TESE:**

EFICIÊNCIA DO USO DE AZOSPIRILLUM BRASILENSE EM SISTEMAS DE CULTIVO SOBRE PALHADAS DE LEGUMINOSAS E GRAMINEAS

AUTOR: GUILHERME AMÂNCIO VIEIRA GRUNEWALD

ORIENTADOR: GUSTAVO VITTI MÔRO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas), pela Comissão Examinadora:

 Documento assinado digitalmente
GUSTAVO VITTI MÔRO
Data: 04/12/2025 18:00:23-0300
Verifique em <https://validar.jf.gov.br>

Prof. Dr. GUSTAVO VITTI MÔRO (Participação Virtual)
Departamento de Produção Vegetal / FCAV UNESP Jaboticabal

 Documento assinado digitalmente
GUSTAVO HUGO FERREIRA DE OLIVEIRA
Data: 26/11/2025 16:59:49-0300
Verifique em <https://validar.jf.gov.br>

Prof. Dr. GUSTAVO HUGO FERREIRA DE OLIVEIRA (Participação Virtual)
Departamento Engenharia Agrônômica / Universidade Federal de Sergipe (UFS) - Nossa Senhora da Glória/SE

 Documento assinado digitalmente
RINALDO CESAR DE PAULA
Data: 04/12/2025 12:31:29-0300
Verifique em <https://validar.jf.gov.br>

Prof. Dr. RINALDO CESAR DE PAULA (Participação Virtual)
Departamento de Produção Vegetal / FCAV UNESP Jaboticabal

 Documento assinado digitalmente
VINICIUS AUGUSTO FILLA
Data: 04/12/2025 12:00:17-0300
Verifique em <https://validar.jf.gov.br>

Prof. Dr. VINICIUS AUGUSTO FILLA (Participação Virtual)
Faculdades Associadas de Uberaba (FAZU) / Uberaba/MG

 Documento assinado digitalmente
FÁBIO LUIZ CHECCHIO MINGOTTE
Data: 26/11/2025 15:34:11-0300
Verifique em <https://validar.jf.gov.br>

Prof. Dr. FÁBIO LUIZ CHECCHIO MINGOTTE (Participação Virtual)
Departamento de Produção Vegetal / FCAV UNESP Jaboticabal

Jaboticabal, 27 de novembro de 2025.

Dados Curriculares do autor

GUILHERME AMÂNCIO VIEIRA GRUNEWALD – nasceu em Monte Carmelo, Minas Gerais. Graduiu-se em Agronomia pela Universidade Federal de Lavras (UFLA). Posteriormente, ingressou no curso de Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), Câmpus de Jaboticabal, desenvolvendo trabalhos com ênfase em genética quantitativa e melhoramento genético de milho. Na sequência, iniciou o curso de Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas pela mesma instituição, concluído em 2025, na condição de bolsista da CAPES. Durante sua trajetória acadêmica, desenvolveu pesquisas voltadas à resposta de genótipos de milho, com enfoque na associação com bactérias promotoras de crescimento de plantas. Ao longo de sua formação, adquiriu experiência na elaboração, condução e avaliação de projetos de pesquisa em campo, consolidando sua atuação na área de genética e melhoramento de plantas.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. À UNESP (Universidade Estadual Paulista/Jaboticabal). À equipe da FEPE (Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão). Aos membros do Grupo de Pesquisa NEGEMM (Núcleo de Estudos em Genética e Melhoramento de Milho).

Dedicatória

Dedico este trabalho à minha mãe, Roseli, pelo amor, apoio incondicional e por sempre acreditar em mim, sendo alicerce fundamental em minha trajetória. Ao meu orientador, Gustavo Vitti Moro, pela orientação, confiança e pelos ensinamentos que contribuíram de forma decisiva para minha formação acadêmica e profissional. À minha noiva, Talita Silva, pelo companheirismo, incentivo, compreensão e por estar ao meu lado em todos os momentos desta caminhada. E aos meus amigos, pelo apoio, amizade, incentivo e por compartilharem comigo os desafios e conquistas ao longo dessa jornada.

SUMÁRIO

i

RESUMO.....	ii
ABSTRACT.....	iii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Cultura do milho no brasil e demanda por nitrogênio em sistemas intensivos	3
2.2 Adubação nitrogenada e limitações de eficiência: perdas, custos e busca por alternativas sustentáveis	6
2.3 Bactérias promotoras de crescimento e mecanismos de ação de <i>Azospirillum brasilense</i> (fixação, fitormônios, solubilização)	9
2.4 Sistemas de cultivo sobre palhadas de leguminosas e gramíneas e sua contribuição para a ciclagem de N	12
2.5 Interação inoculação × adubação (base e cobertura) × cultura antecessora na expressão da eficiência do inoculante	15
2.6 Influência do material genético de milho na resposta ao <i>Azospirillum</i> em diferentes sistemas de cultivo	18
3 MATERIAL E MÉTODOS	22
4 RESULTADOS.....	25
4.1 Híbrido 2B610.....	25
4.2 Híbrido 30A37.....	26
4.3 Híbrido P4285.....	27
5 DISCUSSÃO	29
5.1 Híbrido 2B610.....	29
5.2 Híbrido 30A37.....	34
5.3 Híbrido P4285.....	39
5.4 Comparação entre os híbridos	46
6 CONCLUSÕES	50
REFERÊNCIAS.....	52
APÊNDICES	56

RESUMO

Este estudo avaliou a eficiência do uso de *Azospirillum brasilense* na cultura do milho em sistemas de cultivo sobre palhadas de leguminosas e gramíneas, considerando a interação entre híbridos, manejo de nitrogênio e qualidade da palhada antecedente. A pesquisa foi conduzida em condições de campo, em delineamento de blocos ao acaso, com arranjo fatorial envolvendo a inoculação com *Azospirillum brasilense*, diferentes manejos de adubação nitrogenada e sistemas de cultivo com distintas plantas de cobertura. Foram avaliados híbridos de milho com comportamento contrastante, em sucessão a palhadas de leguminosas, gramíneas e consórcios, buscando identificar em quais condições a inoculação favorece o desempenho agrônomo da cultura. As variáveis analisadas contemplaram componentes de crescimento, arquitetura de planta e produtividade, além de indicadores de eficiência agrônoma organizados por safra e em análise conjunta. Os resultados evidenciaram que a resposta à inoculação não foi uniforme entre os híbridos e variou conforme o sistema de cultivo e o manejo de nitrogênio adotado. Em geral, os melhores desempenhos foram observados em condições de maior sincronismo entre a liberação de nutrientes pela palhada e a demanda do milho, especialmente em sistemas com presença de leguminosas, nos quais a qualidade da cobertura favoreceu o estabelecimento inicial da cultura e a expressão do efeito do inoculante. Em contrapartida, em sistemas com predominância de palhadas de gramíneas e maior imobilização de nitrogênio, a resposta ao *Azospirillum brasilense* foi menos consistente, tornando-se mais dependente da adubação mineral. Também se verificou que a eficiência do inoculante esteve condicionada ao material genético utilizado, com híbridos mais responsivos em determinadas combinações de manejo. A análise dos resultados indica que a inoculação com *Azospirillum brasilense* não deve ser interpretada de forma isolada, mas como componente de um sistema de manejo integrado, no qual a rotação de culturas, a qualidade da palhada e o posicionamento da adubação nitrogenada definem a magnitude da resposta. Conclui-se que o uso de *Azospirillum brasilense* apresenta maior potencial de contribuição em sistemas de cultivo tecnicamente ajustados, com palhadas de melhor qualidade e estratégias de manejo que favoreçam o aproveitamento biológico e agrônomo do nitrogênio, contribuindo para maior eficiência produtiva da cultura do milho.

Palavras-chave: Milho. *Azospirillum brasilense*. Palhada de leguminosa. Adubação nitrogenada. Produtividade.

ABSTRACT

This study evaluated the efficiency of *Azospirillum brasilense* use in maize grown under cultivation systems based on legume and grass mulches, considering the interaction among hybrids, nitrogen management, and the quality of the preceding crop residue. The experiment was conducted under field conditions using a randomized block design, with a factorial arrangement including inoculation with *Azospirillum brasilense*, different nitrogen fertilization strategies, and cultivation systems with distinct cover crops. Maize hybrids with contrasting behavior were assessed in succession to legume mulches, grass mulches, and mixed systems in order to determine under which conditions inoculation improves crop performance. The evaluated variables included growth and plant architecture traits, grain yield, and agronomic efficiency indicators, which were organized by season and also examined in a joint analysis. The results showed that the response to inoculation was not uniform across hybrids and varied according to the cultivation system and nitrogen management strategy. In general, the best responses were observed under conditions with greater synchrony between nutrient release from the mulch and maize demand, especially in systems containing legumes, in which residue quality favored early crop establishment and the expression of the inoculant effect. In contrast, in systems with predominance of grass residues and greater nitrogen immobilization, the response to *Azospirillum brasilense* was less consistent and became more dependent on mineral nitrogen fertilization. The results also indicated that inoculant efficiency was conditioned by the genetic material, with some hybrids showing greater responsiveness in specific management combinations. The findings demonstrate that *Azospirillum brasilense* inoculation should not be interpreted in isolation, but rather as part of an integrated management system in which crop rotation, mulch quality, and nitrogen fertilization timing determine the magnitude of the response. It is concluded that *Azospirillum brasilense* has greater potential to contribute under well-adjusted cultivation systems, with higher-quality mulches and management strategies that favor biological and agronomic nitrogen use, thereby improving maize production efficiency.

Keywords: Maize; *Azospirillum brasilense*; Legume mulch; Nitrogen fertilization; Grain yield.

1 INTRODUÇÃO

O milho é uma das principais culturas agrícolas de importância econômica para o Brasil, e essa relevância decorre sobretudo da sua versatilidade como matéria-prima para diferentes complexos agroindustriais, além de ser base para alimentação de aves e suínos (Albuquerque *et al.*, 2013; Araújo *et al.*, 2023). Na safra 2023/2024, a produção mundial de milho foi estimada em aproximadamente 1,22 bilhão de toneladas, mantendo o Brasil na terceira posição no ranking, atrás apenas dos Estados Unidos e da China (USDA, 2026). No ciclo 2022/2023, as condições climáticas favoráveis permitiram ao país colher mais de 139 milhões de toneladas, um acréscimo de 16,6% em relação à safra anterior, com produtividade média de 5.922 kg ha⁻¹; Mato Grosso, Paraná, Mato Grosso do Sul e Goiás seguiram como principais estados produtores, com destaque para o primeiro (Conab, 2024).

Projeções da FAO indicam que, até 2050, a demanda por energia e alimentos poderá crescer entre 50% e 60%, ampliando o desafio de produzir mais em cenários marcados por mudanças climáticas, restrições ambientais e necessidade de conservação do solo e da água (FAO, 2017). Nesse contexto, torna-se indispensável adotar estratégias de manejo que conciliem alta produtividade com sustentabilidade, incluindo o uso de culturas de cobertura e de palhadas de melhor qualidade, capazes de intensificar a ciclagem de nitrogênio e reduzir a dependência de fertilizantes industriais (Aita *et al.*, 2004; Alvarenga *et al.*, 2001). A produção intensiva de milho, contudo, ainda é fortemente apoiada em adubação mineral, sobretudo nitrogenada, o que eleva custos e pode comprometer o equilíbrio ambiental (Cantarella; Quaggio, 1997).

O nitrogênio destaca-se como o macronutriente de maior exigência pela cultura, por participar de moléculas essenciais ao metabolismo vegetal, como proteínas, enzimas, ácidos nucleicos e clorofila, sendo, portanto, determinante para o crescimento e para o enchimento de grãos (Aita *et al.*, 2004; Messias *et al.*, 2023). Essa elevada demanda é uma das principais responsáveis pelo aumento do custo de produção, já que os fertilizantes nitrogenados têm alto custo de fabricação e, no campo, a eficiência de aproveitamento costuma ser baixa, com perdas por lixiviação e volatilização que podem contaminar águas superficiais e subterrâneas (Aita *et al.*, 2004; Silva *et al.*, 2021). Por isso, diferentes autores apontam a necessidade de complementar o N mineral com fontes biológicas e com sistemas de cultivo sobre

palhadas de leguminosas e gramíneas que favoreçam a mineralização gradual do nutriente (Albuquerque *et al.*, 2013; Collier *et al.*, 2006).

Diante desse cenário, cresce o interesse pelo uso de microrganismos benéficos associados às raízes, em especial bactérias promotoras de crescimento, como as do gênero *Azospirillum*, que podem contribuir para o suprimento de N por meio da fixação biológica e, ao mesmo tempo, melhorar a arquitetura radicular da planta, ampliando a absorção de água e nutrientes (Hungria, 2010; Araújo *et al.*, 2023; Nwachukwu; Babalola, 2021). Segundo Messias *et al.* (2023), essas bactérias possuem aparato enzimático capaz de romper a ligação tripla do N₂ atmosférico e convertê-lo em NH₃, que posteriormente é transformado em NH₄⁺, forma absorvida pelas plantas, reforçando seu potencial como tecnologia de baixo custo em sistemas conservacionistas (Gírio *et al.*, 2015). Além do efeito direto sobre o N, muitas estirpes ainda produzem ácidos orgânicos e fitormônios que solubilizam fósforo e estimulam o crescimento radicular, resultando em plantas mais vigorosas (Hungria, 2010; Araújo *et al.*, 2023).

Entretanto, um dos principais entraves à adoção ampla dessa tecnologia é a variabilidade de resposta observada em campo, que depende tanto do material genético utilizado quanto das condições de solo, clima, palhada e manejo de adubação (Messias *et al.*, 2023). Em trabalhos comparando variedades de polinização aberta e híbridos de milho inoculados com *Azospirillum*, foram verificadas respostas distintas entre genótipos, atribuídas à variabilidade genética e à interação com o sistema de cultivo (Messias *et al.*, 2023). Além disso, a literatura evidencia que a resposta tende a ser mais pronunciada quando o milho sucede culturas de cobertura de melhor qualidade, como leguminosas, que antecipam a oferta de N por mineralização e criam rizosfera mais ativa (Aita *et al.*, 2004; Gírio *et al.*, 2015).

6 CONCLUSÕES

Observou-se que a inoculação foi mais eficiente quando o milho foi cultivado após leguminosa, sobretudo nas avaliações iniciais, o que reforça a importância da palhada na dinâmica de mineralização e no suprimento de N. Esse resultado reforça que a rotação de culturas é um fator determinante para o desempenho do inoculante.

Observou-se também que o efeito de *Azospirillum brasilense* variou entre os híbridos avaliados, com respostas mais consistentes em materiais geneticamente mais sensíveis e em ambientes com melhor sincronia entre liberação e demanda de N. Assim, a inoculação, para ser agronomicamente efetiva, deve ser associada à escolha de híbridos responsivos e ao manejo adequado do sistema.

Verificou-se, ainda, que o manejo do nitrogênio interfere diretamente na expressão da inoculação. Quando o nutriente foi ofertado de forma sincronizada com a demanda da cultura, especialmente com adubação de base associada à cobertura, a bactéria atuou como intensificadora da eficiência de uso do nitrogênio. Quando, ao contrário, o sistema dependia apenas da adubação de base ou havia imobilização inicial pela palhada, o efeito do inoculante ficou restrito às fases vegetativas e não chegou à produtividade.

Os resultados mostraram ainda que sistemas de sucessão milho sobre milho, ou aqueles conduzidos sobre gramíneas de alta relação C/N, não permitiram a manifestação plena do inoculante. Nessas situações, a baixa ciclagem biológica de nitrogênio e a maior competição dos microrganismos decompositores pelo nutriente reduziram a possibilidade de o *Azospirillum* expressar seus mecanismos de ação. Desse modo, confirmou-se a influência do sistema de cultivo sobre a eficiência da inoculação, conforme proposto neste estudo.

A análise comparativa entre os híbridos reforçou que não se pode recomendar o uso de *Azospirillum brasilense* de forma generalizada para o milho. Há materiais que respondem com ganho fisiológico e agrônômico quando inseridos em sistemas com boa oferta de nitrogênio de origem biológica, enquanto outros apenas registram aumento temporário de clorofila, sem reflexo produtivo. Assim, o estudo respondeu à hipótese de que a expressão do inoculante varia conforme o genótipo e que essa variação precisa ser considerada no manejo.

O trabalho também demonstrou que a melhoria do ambiente radicular, proporcionada pela inoculação, só se converteu em produtividade quando o sistema

de cultivo assegurou disponibilidade de nitrogênio ao longo de todo o ciclo. Em ambientes em que o suprimento foi descontínuo, o efeito do inoculante apareceu apenas no início do desenvolvimento, mas não se manteve até o enchimento de grãos. Isso confirma que a inoculação atua de forma complementar, e não substitutiva, à adubação e à ciclagem promovida pela palhada.

Os resultados obtidos evidenciam que a adoção de palhadas de leguminosas é estratégia central para viabilizar o uso de bioinsumos em milho. A palhada de melhor qualidade antecipou o fornecimento de nitrogênio e criou rizosfera mais ativa, permitindo que a bactéria colonizasse o sistema radicular e ativasse seus efeitos fisiológicos. Dessa forma, o estudo atingiu o objetivo de indicar combinações de rotação e inoculação mais promissoras para sistemas de plantio direto.

Adicionalmente, observa-se que a eficiência observada nos melhores arranjos de cultivo confirma a pertinência da proposta de reduzir parcialmente o uso de nitrogênio mineral quando se integra rotação com leguminosas e inoculação. O trabalho não indica eliminação da adubação, mas mostra que é possível racionalizá-la quando o sistema é biologicamente estruturado. Assim, a pesquisa atende ao objetivo prático de apontar alternativas mais sustentáveis para o manejo do nutriente na cultura do milho.

Portanto, conclui-se que a eficiência do *Azospirillum brasilense* em sistemas de cultivo sobre palhadas de leguminosas e gramíneas é resultado da interação entre híbrido, rotação e manejo de nitrogênio. Quando esses elementos foram planejados de forma conjunta, o inoculante elevou o estado nutricional e a produtividade; quando algum deles foi limitante, a resposta não se manifestou. Em conjunto, os resultados respondem às hipóteses propostas e confirmam que a inoculação deve ser recomendada de forma condicionada ao sistema de produção, e não como técnica isolada.

REFERÊNCIAS

- AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; HÜBNER, A. P.; CHIAPINOTTO, I. C.; FRIES, M. R. Consorciação de plantas de cobertura antecedendo o milho em plantio direto: I - Dinâmica do nitrogênio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 4, p. 739-749, ago. 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000400014>. Acesso em: 02 jan. 2024.
- ALBUQUERQUE, A. W. D.; SANTOS, J. R.; MOURA FILHO, G.; REIS, L. S. Plantas de cobertura e adubação nitrogenada na produção de milho em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 7, p. 721-726, jul. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000700005>. Acesso em: 02 jan. 2024.
- ALVARENGA, R. C.; CABEZAS, W. A. L.; CRUZ, J. C.; SANTANA, D. P. Plantas de cobertura de solo para sistema de plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p. 25-36, 2001. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/485005>. Acesso em: 02 set. 2024.
- ANDRÉ, R. G. B.; GARCIA, A. Alguns aspectos climáticos do município de Jaboticabal - SP. **Nucleus**, v. 12, n. 2, p. 263-270, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.3738/1982.2278.1543>. Acesso em: 23 fev. 2026.
- ARAÚJO, T. B.; SCHUELTER, A. R.; SOUZA, I. R. P.; COELHO, S. R. M.; CHRIST, D. Promoção de crescimento em milho inoculado com *Trichoderma harzianum*. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 22, e1269, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.18512/rbms2023v22e1269>. Acesso em: 23 fev. 2026.
- ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; BORTOLINI, C. G. Clorofila na folha como indicador do nível de nitrogênio em cereais. **Ciência Rural**, v. 31, n. 4, p. 715-722, 2001b. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782001000400027>. Acesso em: 23 fev. 2026.
- ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; BORTOLINI, C. G.; FORSTHOFER, E. L.; STRIEDER, M. L. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 13, n. 2, p. 158-167, 2001a. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-31312001000200005>. Acesso em: 23 fev. 2026.
- BARBOSA, J. C.; MALDONADO JÚNIOR, W. **AgroEstat: sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos**. Jaboticabal: FCAV/UNESP, 2015.
- CALONEGO, J. C.; GIL, F. C.; ROCCO, V. F.; SANTOS, E. A. Persistência e liberação de nutrientes da palha de milho, braquiária e labe-labe. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 5, p. 770-781, 2012.
- CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. In: RAIJ, B. VAN; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. (ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de**

São Paulo. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. p. 45-71. (Boletim Técnico, 100). Disponível em: <https://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/boletim100.php>. Acesso em: 02 jan. 2024.

CASAGRANDE, J. R.; FORNASIERI FILHO, D. Adubação nitrogenada na cultura do milho safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 1, p. 33-40, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2002000100005>. Acesso em: 23 fev. 2026.

COLLIER, L. S.; CASTRO, D. V.; DIAS NETO, J. J.; BRITO, D. R.; RIBEIRO, P. A. D. A. Manejo da adubação nitrogenada para o milho sob palhada de leguminosas em plantio direto em Gurupi, TO. **Ciência Rural**, v. 36, n. 4, p. 1100-1105, ago. 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782006000400009>. Acesso em: 23 fev. 2026.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: 5º levantamento, fevereiro 2024: safra 2023/24**. Brasília, DF: Conab, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/5o-levantamento-safra-2023-24/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 02 jan. 2024.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: 9º levantamento, junho 2025: safra 2024/25**. Brasília, DF: Conab, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/9o-levantamento-safra-2024-25/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 23 fev. 2026.

FAGERIA, N. K. **Adubação e nutrição mineral da cultura do arroz**. Rio de Janeiro: Campus, 1984.

FAO. **FAOSTAT database**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2024. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/>. Acesso em: 23 fev. 2026.

FAO. **The future of food and agriculture: trends and challenges**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2017. Disponível em: <https://www.fao.org/3/i6583e/i6583e.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2024.

GÍRIO, L. A. S.; DIAS, F. L. F.; REIS, V. M.; URQUIAGA, S.; SCHULTZ, N.; BOLONHEZI, D.; MUTTON, M. A. Bactérias promotoras de crescimento e adubação nitrogenada no crescimento inicial de cana-de-açúcar proveniente de mudas pré-brotadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 1, p. 33-43, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000100004>. Acesso em: 23 fev. 2026.

GUIMARÃES, A. G.; CECCON, G.; CAPRISTO, D. P.; FACHINELLI, R. Dose of *Azospirillum brasilense* in single maize and intercropped with brachiaria in different soils. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 18, n. 2, e3097, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.5039/agraria.v18i2a3097>. Acesso em: 23 fev. 2026.

HUNGRIA, M. **Inoculação com *Azospirillum brasilense*: inovação em rendimento a baixo custo**. Londrina: Embrapa Soja, 2010. (Embrapa Soja.

Documentos, 325). Disponível em:
<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/29676/1/Inoculacao-com-Azospirillum.pdf>. Acesso em: 23 fev. 2026.

JÚNIOR, N. B.; ALVES, G. H. T.; BELLETTINI, S.; BELLETTINI, N. M. T. Parcelamento de nitrogênio e inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense* na cultura do milho. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 11, p. 89544-89663, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n11-397>. Acesso em: 23 fev. 2026.

LANA, M. C.; DARTORA, J.; MARINI, D.; HANN, J. E. Inoculation with *Azospirillum*, associated with nitrogen fertilization in maize. **Revista Ceres**, v. 59, n. 3, p. 399-405, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2012000300016>. Acesso em: 23 fev. 2026.

MELO, V. P.; BEUTLER, A. N.; SOUZA, Z. M.; CENTURION, J. F.; MELO, W. J. Atributos físicos de Latossolos adubados durante cinco anos com biossólido. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 1, p. 67-72, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000100010>. Acesso em: 23 fev. 2026.

MESSIAS, M.; VALICHESKI, R. R.; SOUSA PERES, M.; LEMES, B. C. C. P.; JESUS, G. E. B. R.; LELIS, F. V.; SILVA, M. R. K. S. Respostas morfofisiológicas e fotossintéticas de materiais genéticos de milho a formas de aplicação e doses de *Azospirillum brasilense*. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 22, e1296, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.18512/rbms2023v22e1296>. Acesso em: 23 fev. 2026.

NWACHUKWU, B. C.; BABALOLA, O. O. Perspectives for sustainable agriculture from the microbiome in plant rhizosphere. **Plant Biotechnology Reports**, v. 15, n. 3, p. 259-278, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11816-021-00676-3>. Acesso em: 23 fev. 2026.

OLIVEIRA NETO, E. D.; RODRIGUES, H. D. A.; CAZETTA, J. O.; SOUZA, H. A. Respostas fisiológicas e enzimáticas no milho sob diferentes concentrações de nitrogênio. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 22, n. 2, p. 207-217, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.5965/223811712222023207>. Acesso em: 23 fev. 2026.

OLIVEIRA, D. T. M.; ANDRADE, C. L. L.; CABRAL FILHO, F. R.; TEIXEIRA, M. B.; FERREIRA, T. M. Avaliação biométrica do uso de diferentes fontes de nitrogênio no milho safrinha. **Brazilian Journal of Science**, v. 2, n. 1, p. 63-71, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.14295/bjs.v2i1.252>. Acesso em: 23 fev. 2026.

QUADROS, P. D.; ROESCH, L. F. W.; SILVA, P. R. F.; VIEIRA, V. M.; ROEHRS, D. D.; CAMARGO, F. A. O. Desempenho agrônômico a campo de híbridos de milho inoculados com *Azospirillum*. **Revista Ceres**, v. 61, n. 2, p. 209-218, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2014000200008>. Acesso em: 23 fev. 2026.

SAS INSTITUTE INC. **SAS/STAT® 9.4 User's Guide**. Cary, NC: SAS Institute Inc., 2024.

SILVA, D. C.; COSTA, N.; ARAÚJO, J. C.; SILVA, A. V.; XAVIER, R. T. Características agroeconômicas do milho: uma revisão. **Natural Resources**, v. 11, n. 2, p. 13-21, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.6008/CBPC2237-9290.2021.002.0003>. Acesso em: 23 fev. 2026.

USDA. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **World agricultural production (Circular Series WAP 02-26, February 2026)**. Washington, DC: USDA/FAS, 2026. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2024.