

UNIVERSIDADE ESTDUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

JOÃO PAULO VERÍSSIMO

**ESTRATÉGIAS DE INOCULAÇÃO DE *Azospirillum brasilense* E REDUÇÃO DO
NITROGÊNIO APLICADO EM COBERTURA: IMPACTOS NA PRODUTIVIDADE E
NA RENTABILIDADE DO SORGO GRANÍFERO**



Ilha Solteira – SP
2025

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

JOÃO PAULO VERÍSSIMO

**ESTRATÉGIAS DE INOCULAÇÃO DE *Azospirillum brasilense* E REDUÇÃO DO
NITROGÊNIO APLICADO EM COBERTURA: IMPACTOS NA PRODUTIVIDADE E
NA RENTABILIDADE DO SORGO GRANÍFERO**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia – Unesp, Câmpus de Ilha Solteira – como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Sistemas de Produção.

Área de Concentração: Sistemas de Produção

Orientador: Prof. Dr. Orivaldo Arf

Ilha Solteira – SP

2025

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvida pela Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação

V517e Veríssimo, João Paulo.
Estratégias de inoculação de *Azospirillum* brasileiro e redução do nitrogênio aplicado em cobertura: impactos na produtividade e na rentabilidade do sorgo granífero / João Paulo Veríssimo. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2025
51 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Especialidade: Sistemas de Produção, 2025

Orientador: Orivaldo Arf
Inclui bibliografia

1. Bactérias promotoras de crescimento de plantas. 2. Fixação biológica de nitrogênio. 3. *Sorghum bicolor*. 4. Inoculação. 5. Custo operacional total. 6. Índice de lucratividade.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ESTRATÉGIAS DE INOCULAÇÃO DE AZOSPIRILLUM BRASILENSE E REDUÇÃO DO NITROGÊNIO APLICADO EM COBERTURA: IMPACTOS NA PRODUTIVIDADE E NA RENTABILIDADE DO SORGO GRANÍFERO.

AUTOR: JOÃO PAULO VERÍSSIMO

ORIENTADOR: ORIVALDO ARF

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Agronomia, área: Sistemas de Produção pela Comissão Examinadora:

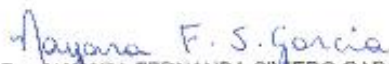


Prof.Dr. ORIVALDO ARF (Participação Presencial)

Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Socio-Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP



Dr. FERNANDO DE SOUZA BUZO (Participação Presencial)
(sem vínculo institucional)



Dra. NAYARA FERNANDA SIMERO GARCIA (Participação Presencial)
(sem vínculo institucional)

Ilha Solteira, 11 de julho de 2025

O futuro da humanidade está nas mãos daqueles que são capazes de transmitir às gerações do amanhã, razões de vida e de esperança.

São João Paulo II

Dedico este trabalho à duas pessoas, que desde o início de minha vida estiveram comigo, me educando, ensinando valores de vida e me incentivando a sempre buscar meus sonhos. Aos meus pais, João Francisco Veríssimo e Magda Cristina Scipioni Veríssimo. Muito obrigado.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente agradeço a Deus, por todas as bênçãos e oportunidades que Ele coloca em minha vida.

Agradeço à minha família por todo apoio dado ao longo de toda minha vida, João Francisco Veríssimo, meu pai, Magda Cristina Scipioni Veríssimo, minha mãe e Luana Veríssimo, minha irmã.

Um agradecimento especial aos meus avós paternos, Francisco Veríssimo Sobrinho (*in memoriam*) e Balbina Martins Veríssimo, por todos os ensinamentos, principalmente por me transmitirem o amor pela agricultura.

Agradeço também a minha namorada Luiza Neckel Rufino, por todo apoio dado a mim na conclusão deste trabalho.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Orivaldo Arf, exemplo como profissional e como homem, por todo auxílio e oportunidade oferecidos a mim durante minha vida acadêmica.

Agradeço a Difusão Agrícola Consultoria e Pesquisa Agropecuária Ltda, nas pessoas de André Luiz Juste Petenucci e Marcelo Valentini Arf, por me concederem a oportunidade de realizar o curso de mestrado e implementar o trabalho na área experimental da empresa.

Por fim, um agradecimento a todos os amigos que me ajudaram durante a execução deste trabalho.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Dados climáticos de precipitação, temperatura máxima, temperatura média e temperatura mínima, referentes ao período de condução do experimento. Chapadão do Sul/MS, 2023.....	25
Figura 2 – Dados climáticos de precipitação, temperatura máxima, temperatura média e temperatura mínima, referentes ao período de condução do experimento. Chapadão do Sul/MS, 2024.....	26
Figura 3 – Custo operacional total (COT) e índices de lucratividade (IL%) do sorgo granífero, cultivado na segunda safra com e sem a inoculação da bactéria <i>Azospirillum brasilense</i> . Chapadão do Sul/MS, 2023.....	47
Figura 4 – Experimento no primeiro ano de condução, plantas com 20 dias após a emergência (DAE). Chapadão do Sul – MS. 2023.....	53
Figura 5 – Experimento no primeiro ano de condução, plantas com 31 DAE. Chapadão do Sul – MS. 2023.....	53
Figura 6 – Experimento no primeiro ano de condução, plantas com 55 DAE. Chapadão do Sul – MS. 2023.....	54
Figura 7 – Experimento no Segundo ano de condução, plantas com 17 DAE. Chapadão do Sul – MS. 2024.....	55
Figura 8 – Experimento no Segundo ano de condução, plantas com 119 DAE. Chapadão do Sul – MS. 2024.....	56

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** – Altura de plantas (Alt.plantas), diâmetro de colmos (Dia.colmos) e população final de plantas (Pop. final), na cultura do sorgo granífero, em função dos modos de inoculação de *Azospirillum brasilense* associado à redução na dose de nitrogênio. Chapadão do Sul/MS. 2023-2024..... **30**
- Tabela 2** – Massa seca da parte aérea (MSPA), teor de nitrogênio foliar (N foliar) e teor de nitrogênio nos grãos (N grão), na cultura do sorgo granífero, em função dos modos de inoculação de *Azospirillum brasilense* associado à redução na dose de nitrogênio. Chapadão do Sul/MS. 2023-2024..... **31**
- Tabela 3** – Massa de mil grãos (MMG) e produtividade de grãos (Produtividade), na cultura do sorgo granífero, em função dos modos de inoculação de *Azospirillum brasilense* associado a redução na dose de nitrogênio. Chapadão do Sul/MS. 2023-2024..... **33**
- Tabela 4** – Estimativa do custo operacional total (COT) para a cultura do sorgo granífero, em função do tratamento 5 (inoculação de *A. brasilense* via tratamento de sementes + adubação mineral nitrogenada reduzida em 25%). Chapadão do Sul - MS. 2025..... **46**
- Tabela 5.** Indicadores de rentabilidade para a cultura do sorgo granífero, em função dos modos de inoculação de *Azospirillum brasilense* e da redução do nitrogênio mineral aplicado em cobertura, nos anos agrícolas de 2022/2023 e 2023/2024. Chapadão do Sul – MS. 2025..... **48**

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tratamentos testados no experimento. Chapadão do Sul/MS, 2023-2024.....	27
Quadro 2 – Avaliações realizadas no experimento. Chapadão do Sul/MS, 2023-2024.....	28

RESUMO

O sorgo é um cereal de grande importância pois pode ser utilizado tanto na alimentação humana, como na dos animais. O Brasil produz 8,4% do total de sorgo no mundo, sendo o terceiro maior produtor. A utilização desse grão em território brasileiro, se destina basicamente para a alimentação animal, principalmente para aves e suínos. Este trabalho teve por objetivo, avaliar como os modos de inoculação da bactéria *Azospirillum brasilense* associados à redução da dose de nitrogênio aplicado em cobertura, interferem nas variáveis de produtividade e na rentabilidade da cultura do sorgo granífero. O trabalho foi conduzido em Chapadão do Sul – MS, durante a segunda safra dos anos agrícolas de 2022/2023 e 2023/2024. Foram testados 8 tratamentos, dispostos em delineamento em blocos casualizados. Os tratamentos consistiam em testemunha absoluta, dose recomendada de nitrogênio (N), dose de N reduzida em 25%, inoculação de *A. brasilense* via sulco com N reduzido em 25%, inoculação de *A. brasilense* via tratamento de sementes com N reduzido em 25%, inoculação de *A. brasilense* via tratamento de sementes e via foliar com N reduzido em 25%, inoculação de *A. brasilense* via foliar com N reduzido em 25% e inoculação de *A. brasilense* via foliar com dose de N completa. Conclui-se que a inoculação da bactéria *A. brasilense*, via sulco com dose de 0,20 L ha⁻¹ ou no tratamento de sementes com dose de 0,10 L ha⁻¹, pode ser utilizada como forma de substituir 25% da dose de N mineral recomendada em cobertura para a cultura do sorgo granífero, sem que haja perdas em produtividade, reduzindo os custos de produção e aumentando os índices de lucratividade.

Palavras-chave: bactérias promotoras de crescimento de plantas; fixação biológica de nitrogênio; *Sorghum bicolor*.

ABSTRACT

Sorghum is a cereal of great importance because it can be used for both human and animal feed. Brazil produces 8.4% of the world's total sorghum, making it the third largest producer. The use of this grain in Brazil is basically for animal feed, mainly for poultry and pigs. The aim of this study was to assess how inoculation methods of the bacterium *Azospirillum brasilense*, combined with a reduction in the dose of nitrogen applied as top dressing, affect the productivity variables and profitability of grain sorghum. The work was carried out in Chapadão do Sul - MS, during the second harvest of the 2022/2023 and 2023/2024 agricultural years. Eight treatments were tested in a randomized block design. The treatments consisted of an absolute control, a full dose of nitrogen (N), a dose of N reduced by 25%, inoculation of *A. brasilense* via the furrow with N reduced by 25%, inoculation of *A. brasilense* via seed treatment with N reduced by 25%, inoculation of *A. brasilense* via seed treatment and leaf treatment with N reduced by 25%, inoculation of *A. brasilense* via leaf treatment with N reduced by 25% and inoculation of *A. brasilense* via leaf treatment with a full dose of N. It can be concluded that the inoculation of the bacterium *A. brasilense*, via the furrow at a dose of 0.20 L ha⁻¹ or in the seed treatment at a dose of 0.10 L ha⁻¹, can be used to replace 25% of the dose of mineral N recommended in top dressing for grain sorghum, without any loss in productivity, reducing production costs and increasing profitability.

Keywords: plant growth-promoting bacteria; biological nitrogen fixation; *Sorghum bicol.*

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: CONSIDERAÇÕES GERAIS	12
1.1 INTRODUÇÃO	12
1.2 JUSTIFICATIVA	13
REFERÊNCIAS	15
 CAPÍTULO 2: ESTRATÉGIAS DE INOCULAÇÃO DE <i>Azospirillum brasilense</i> E REDUÇÃO DO NITROGÊNIO APLICADO EM COBERTURA: IMPACTOS NA PRODUTIVIDADE DO SORGO GRANÍFERO	 17
2.1 INTRODUÇÃO	18
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	22
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
2.4 CONCLUSÃO	31
REFERÊNCIAS	32
 CAPÍTULO 3: ANÁLISE ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DA BACTÉRIA <i>Azospirillum brasilense</i> COM A REDUÇÃO DO NITROGÊNIO APLICADO EM COBERTURA NA CULTURA DO SORGO GRANÍFERO	 38
3.1 INTRODUÇÃO	39
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	41
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
3.4 CONCLUSÃO	47
REFERÊNCIAS	48

CAPÍTULO 1 – Considerações gerais

1.1 Introdução

O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) é um cereal que pode ser utilizado na alimentação humana, mas tem seu enfoque maior na alimentação animal sendo um substituto para o milho. O Brasil é o terceiro maior produtor de sorgo granífero do mundo, sendo responsável por 8,4% da produção mundial desse cereal, ficando atrás apenas dos Estados Unidos da América e da Nigéria. (USDA, 2024).

A área cultivada com sorgo granífero no Brasil já ultrapassa 1,50 milhões de hectares, com uma produtividade média estimada em 3.116 Kg ha⁻¹, no ano agrícola de 2024/2025, aumento de 3,1% e 2,7% respectivamente em relação ao ano agrícola anterior (CONAB, 2025¹).

A cultura do sorgo está sendo cultivada com mais expressão na segunda safra em substituição à cultura do milho. Esse fato pode ser visto pelo aumento significativo da área cultivada com sorgo no Brasil do ano agrícola 2021/2022 para o atual: em relação ao cultivo do milho segunda safra. Enquanto a área com sorgo cresceu 31,36%, as áreas com milho cresceram apenas 2,21% (CONAB, 2025²).

Assim como mostrado por Ostmeyer *et al.*, (2022) o nitrogênio (N) é de grande importância para o desenvolvimento da cultura do sorgo granífero, sendo entre os macronutrientes o mais requerido pela planta e o que garante altas produtividades.

Pensando em tornar a produção mais sustentável pode-se utilizar bactérias com capacidade de fazer a fixação biológica do N para suprir parte da demanda desse nutriente para a planta. A *Azospirillum brasilense* é uma bactéria classificada como fixadora de N e promotora de crescimento vegetal (Fukami *et al.*, 2018).

Estudos mostram que através da utilização dessa bactéria em gramíneas pode-se reduzir a adubação mineral nitrogenada aplicada em cobertura em 25%, sem que haja perdas em produtividade (Hungria, 2011). Isso tornaria a produção mais sustentável, do ponto de vista econômico, social e também ambiental.

1.2 Justificativa

O maior desafio dentro do setor agrícola nacional é tornar a produção cada vez mais sustentável, levando-se em consideração os três pilares que formam a sustentabilidade, meio ambiente, sociedade e economia. Com o aumento da população mundial, a busca por alimento cresce, portanto é necessário que se aumente a produtividade das lavouras pensando sempre nos impactos ambientais que essa prática pode causar (NATIONS, 2025).

Hoje o Brasil é dependente do mercado exterior para suprir sua demanda em adubos o que leva o produtor rural a sofrer com grandes oscilações nos preços dos insumos, assim como mostrado por Camargo e Bouças (2025), após o início dos conflitos entre Israel e Irã, os preços dos adubos minerais nitrogenados aumentou, acarretando em custos de produção maiores. No ano de 2024 o Brasil importou mais de 44 milhões de toneladas de adubos e fertilizantes minerais, sendo que desse total 27,3% advém da Rússia (COMEXSTAT, 2024).

O custo de produção varia bastante em função dos métodos empregados durante a implantação e condução da lavoura. Segundo Richetti e Ceccon (2014) a participação da adubação nos custos de produção do sorgo, chegam a 17,7%, sendo o segundo fator que mais afeta este parâmetro.

Para as gramíneas de modo geral, o nutriente mais requerido para o desenvolvimento da cultura é o N. Como mostrado por Cantarella *et al.*, (2022) para a cultura do sorgo, dentre os macronutrientes a ordem de grandeza de absorção é: N, potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P) e enxofre (S).

Para a cultura da soja (*Glycine max*), a utilização da simbiose entre a bactéria do gênero *Bradyrhizobium* com o sistema radicular da soja, garante que ocorra a fixação biológica de nitrogênio (FBN), sendo um método utilizado desde os anos de 1.960 (Hungria *et al.*, 2006).

Para às gramíneas, a partir do início dos anos 2.000, encontrou-se uma bactéria capaz de associar-se com essas plantas e, além de fixar N também promove o crescimento vegetal. Para a cultura do milho se tem muitos dados que mostram incrementos de produtividade com redução do custo com a adubação

mineral nitrogenada quando se faz a utilização da bactéria *A. brasilense* (Hungria, 2011).

A bactéria *A. brasilense*, além de ser considerada promotora de crescimento vegetal, influenciando positivamente no desenvolvimento vegetativo da planta, também é capaz de fornecer nitrogênio para a cultura, por meio da fixação biológica desse nutriente (Hungria, 2011).

A busca por uma agricultura mais sustentável ganhou bastante importância nos últimos anos e o emprego de novas tecnologias que visam a utilização de bactérias como forma de prover nutrientes para as plantas ganhou muito espaço dentro do cenário agrícola no Brasil. A agricultura brasileira vem passando por grandes avanços tecnológicos que tornaram os sistemas de produção mais sustentáveis e aumentaram as produtividades das lavouras. Os manejos empregando microrganismos no sistema de produção tornam-se cada vez mais essenciais para alcançarmos uma agricultura de alto potencial produtivo e sustentável.

Pensando no grande desafio de se aumentar a produtividade das lavouras de forma sustentável e na dependência externa para a aquisição de adubos minerais nitrogenados, o que acaba elevando muito os custos de produção. A utilização de microrganismos pode ser muito rentável, acarretando em boas produtividades e rentabilidade.

REFERÊNCIAS

- CAMARGO, I.; Bouças, C. **Guerra entre Israel e Irã eleva preços da ureia e preocupa os produtores**. São Paulo; Belo Horizonte: Globo, 2025. Disponível em: <https://globo rural.globo.com/insumos/noticia/2025/06/guerra-entre-israel-e-ira-eleva-precos-da-ureia-e-preocupa-os-produtores.ghtml>. Acesso em: 24 jul. 2025.
- CANTARELLA, H.; QUAGGIO, Jo. A.; MATTOS JÚNIOR., D.; BOARETTO, R. M.; VAN RAIJ, B. Cereais. *In: Boletim 100*: recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. Campinas: Fundação de Amparo à Pesquisa Agrícola, 2022. Cap. 3.7, p. 213-238.
- COMEXVIS. **Comex Stat**. Brasília, DF: Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. Disponível em: <https://comexstat.mdic.gov.br/pt/comex-vis/4/562>. Acesso em: 22 maio 2025.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**: 7º levantamento. 2025. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 12 abr. 2025.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Safra**: série histórica dos grãos. 2025. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-serie-historica-graos.html>. Acesso em: 12 abr. 2025.
- FUKAMI, J., CEREZINI, P.; HUNGRIA, M. *Azospirillum*: benefícios que vão muito além da fixação biológica de nitrogênio. **AMB Express**, Heidelberg, v. 8, n. 73, p. 1-12, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s13568-018-0608-1>. Acesso em: 25 jul. 2025.
- HUNGRIA, M. **Inoculação com *Azospirillum brasilense***: inovação em rendimento a baixo custo. 2011. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/879471>. Acesso em: 20 abr. 2025.
- HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I.; GRAHAM, P. H. **Contribution of biological nitrogen fixation to the N nutrition of grain crops in the tropics: the success of soybean (*Glycine max* L. Merr.) in South America**. *Nitrogen Nutrition and Sustainable Plant Productivity*. p. 43-93. 2006. Disponível em: www.researchgate.net/publication/283628866_Contribution_of_biological_nitrogen_fixation_to_the_N_nutrition_of_grain_crops_in_the_tropics_the_success_of_soybean_Glycine_max_L_Merr_in_South_America. Acesso em: 21 jul. 2025.
- UNITED NATIONS. **Feeding the world sustainably**. United Nations. Disponível em: <https://www.un.org/en/chronicle/article/feeding-world-sustainably/>. Acesso em: 24 jul..

OSTMEYER, T. J. *et al.* Aumento da produtividade do sorgo por meio do uso eficiente de nitrogênio: desafios e oportunidades. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 845443, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.845443>. Acesso em: 25 jul. 2025.

RICHETTI, A.; CECCON, G. **Viabilidade econômica da cultura do sorgo granífero na região Centro-Oeste**. 2014. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1001451>. Acesso em: 30 mar. 2025.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **Production: Sorghum**. Available at: <https://fas.usda.gov/data/production/commodity/0459200>. Acesso em: 12 abr. 2025.

CAPÍTULO 2 – Estratégias de inoculação de *Azospirillum brasilense* e redução do nitrogênio aplicado em cobertura: Impactos na produtividade do sorgo granífero

RESUMO

Tem-se aumentado o cultivo do sorgo granífero na segunda safra, muitas vezes em substituição ao milho. O crescimento do cultivo do sorgo se dá principalmente ao fato dele ser uma planta mais resistente às condições de estresse que às culturas tendem a sofrerem durante esse período. A utilização de bactérias que promovam o crescimento vegetal e fixam N torna-se cada vez mais essencial dentro dos sistemas de produção, sendo uma tecnologia barata que ajuda no incremento de produtividade. Assim sendo, esse estudo teve por objetivo analisar como os modos de inoculação da bactéria *Azospirillum brasilense* e a redução da dose de nitrogênio aplicado em cobertura, interferem nas variáveis de produtividade da cultura do sorgo granífero, cultivado na segunda safra na região do Cerrado brasileiro. O trabalho foi conduzido nos anos agrícolas de 2022/2023 e 2023/2024 em Chapadão do Sul – MS. Os tratamentos testados foram: T₁ – Testemunha absoluta, apenas adubação de semeadura; T₂ – Adubação mineral nitrogenada 120 Kg ha⁻¹; T₃ – Adubação mineral nitrogenada 90 Kg ha⁻¹; T₄ – *A. brasilense* via sulco 0,2 L ha⁻¹ + Adubação mineral nitrogenada 90 Kg ha⁻¹; T₅ – *A. brasilense* via tratamento de sementes 0,1 L ha⁻¹ + Adubação mineral nitrogenada 90 Kg ha⁻¹; T₆ – *A. brasilense* via tratamento de sementes 0,1 L ha⁻¹ + *A. brasilense* via foliar 0,2 L ha⁻¹ + Adubação mineral nitrogenada 90 Kg ha⁻¹; T₇ – *A. brasilense* via foliar 0,3 L ha⁻¹ + Adubação mineral nitrogenada 90 Kg ha⁻¹; T₈ – *A. brasilense* via foliar 0,3 L ha⁻¹ + Adubação mineral nitrogenada 120 Kg ha⁻¹. Nota-se que a inoculação da bactéria traz incrementos para a altura de plantas, diâmetro de colmo, massa seca da parte aérea e produtividade, mesmo quando há a redução da dose de nitrogênio aplicada em cobertura. Conclui-se que se pode utilizar a bactéria *A. brasilense* via sulco de semeadura e via tratamento de sementes com dose de 0,2 e 0,1 L ha⁻¹, reduzindo a dose de nitrogênio mineral sem que haja perdas em produtividade.

Palavras-chave: inoculação; fixação biológica de nitrogênio e bactérias diazotróficas; *Sorghum bicolor*.

2.1 Introdução

O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) é uma planta da família das *Poaceae*, ou seja, uma gramínea, originária da África. Sendo cultivado em muitos países pelo mundo, tem grãos com características energéticas similares às do milho, sendo muitas vezes utilizado na alimentação animal como seu substituto.

O grande aumento do cultivo de sorgo se dá principalmente pela característica de maior resistência dessa cultura aos estresses ambientais que afetam principalmente a segunda safra, época onde seu cultivo é mais expressivo.

A tolerância ao estresse por déficit hídrico é uma característica que envolve aspectos morfológicos e processos fisiológicos. Turner (1986) citado por Pimentel (2004) classifica os mecanismos adaptativos das plantas à seca em: mecanismos de escape e tolerância, sendo que o sorgo possui essas duas características.

O mecanismo de escape está ligado, no caso do sorgo, ao seu sistema radicular, que em comparação com o milho possui massa parecida, porém detém maior quantidade de raízes secundárias. Segundo McCully (1995), as raízes secundárias têm papel fundamental na absorção de água, uma vez que com elas a planta consegue explorar um volume maior de solo, possibilitando uma captação maior de água e nutrientes.

O mecanismo de tolerância está relacionado a morfologia da planta e aos processos fisiológicos. Como mostrado por Eastin (1972) citado por Menezes et al. (2021), o sorgo possui uma adaptação morfológica que é o acúmulo de substâncias cerosas na base da folha que diminui a perda de água por processos transpiratórios, além dessas substâncias cerosas, Lino (2011) mostra que a folha do sorgo possui células buliformes que auxiliam no enrolamento foliar, diminuindo a área transpiratória em casos de estresse por déficit hídrico.

O sorgo é uma cultura que além de suportar melhor os estresses climáticos em comparação ao milho, também consome menos água para concluir seu ciclo de desenvolvimento. Segundo Aldrich *et al.* (1978) para a produção de 1 Kg de matéria seca, o sorgo necessita de 330 Kg de água, enquanto o milho e o trigo, por exemplo, necessitam de 370 e 500 Kg de água, respectivamente.

O ajuste osmótico também é uma ferramenta utilizada pela planta do sorgo. A regulação do fechamento estomático ajuda a planta a não perder muita água para a atmosfera no momento em que estiver captando CO₂ para os processos fotossintéticos. Quando se compara o milho, milheto e sorgo em termos de ajuste osmótico, nota-se que o sorgo faz esse ajuste em maior escala, o que somado com outros mecanismos faz com que essa planta tenha mais resistência aos estresses por déficit hídrico (Kramer; Boyer, 1995; Blum; Sullivan, 1986).

A planta do sorgo é extremamente eficiente em termos de produção de grãos. Segundo Rodrigues (2015), após a semeadura de uma única semente, pode-se obter panículas com número de grãos que varia de 1.500 a 12.000, porém para que se consiga bons índices de produtividade, o manejo cultural, principalmente quando se trata de adubação, deve ser realizado da melhor maneira possível, para que se consiga suprir as necessidades nutricionais da planta.

O manejo da fertilidade do solo e as práticas de adubação da cultura do sorgo, mostram-se defasados, uma vez que o sorgo granífero tem potencial produtivo de 12.000 Kg ha⁻¹ e a média brasileira é de 3.000 Kg ha⁻¹ (Vergütz; Novais, 2014). O N é o nutriente mais absorvido pela cultura do sorgo e o que mais vai limitar o desenvolvimento e produtividade dessa cultura.

Segundo dados da Secretaria de Comércio Exterior, o consumo de adubos minerais pelo Brasil ultrapassou as 44,3 milhões de toneladas, no ano de 2024 (COMEXSTAT, 2025). Sendo que a International Fertilizer Association (IFA), mostra que 59% de todo adubo mineral nitrogenado utilizado no ano agrícola 2017/2018 no mundo, é aplicado em lavouras de cereais.

Levando-se em consideração que o *A. brasilense* é uma bactéria fixadora de N, a atividade agrícola nacional pode ter muitos benefícios para a produção de cereais, entre eles o sorgo, tornando-a menos dependente da variação dos preços dos adubos nitrogenados importados por nosso país.

O *A. brasilense* é considerado uma bactéria promotora de crescimento de plantas (BPCP), ou seja, é encontrada no solo e tem capacidade de colonizar a região da rizosfera, auxiliando a planta no seu desenvolvimento. Essa bactéria realiza a fixação biológica de N e produz fitormônios, como por exemplo a auxina, citocininas e giberilinas, resultando em um melhor desenvolvimento vegetal (Huergo *et al.*, 2008; Tien *et al.*, 1979; Bottini *et al.*, 1989).

Para a cultura do milho, existem diversos dados que mostram uma interação positiva entre a inoculação da bactéria *a. brasilense* e incrementos nos parâmetros de produtividade. Veríssimo (2022) mostra que os modos e doses de aplicação dessa bactéria interagem de maneiras diferentes com a planta de milho, chegando ao resultado de que a inoculação via sementes incrementa mais os parâmetros de produtividade dessa cultura.

Estudos com o Gênero *Azospirillum* como forma de fornecer N para gramíneas vem sendo conduzidos desde o início os anos 1.980, onde inicialmente se tinha muito interesse na utilização dessa bactéria na cultura da cana-de-açúcar. Pereira *et al.* (1989) já mostrava uma interação entre a inoculação de *Azospirillum spp.* e a concentração de N na planta e nos grãos do sorgo.

Com as bactérias do gênero *Azospirillum*, ao contrário das do gênero *Rhizobium*, não ocorre a formação de nódulos nas raízes das plantas. A *A. brasilense* é uma bactéria de vida livre, que se associam ao sistema radicular das plantas, levando ao aumento do desenvolvimento radicular e por consequência a maior absorção de água e nutrientes (Burdman, *et al.* 2000).

O N tem papel fundamental para o crescimento e desenvolvimento do sorgo, assim sendo, a utilização do *A. brasilense* tem um papel chave no suprimento desse nutriente para a planta, resultando em maior crescimento vegetal. Segundo Canepelle (2023), a utilização do *A. brasilense* na cultura do sorgo granífero, inoculado na semente com dose de 100 mL para cada 180.000 sementes, contribuiu para o aumento nos teores de N na matéria seca, aumentou o volume do sistema radicular a produtividade de grãos e o teor de N nos grãos, mesmo quando a adubação com N mineral foi reduzida para 75% da dose recomendada.

A *A. brasilense* atua como promotor de crescimento de plantas, promovendo principalmente o crescimento do sistema radicular, o que possibilita que a planta consiga absorver mais água e nutrientes para o seu desenvolvimento. Quando o sorgo foi cultivado sob condições de estresse hídrico em solo do Cerrado brasileiro, a inoculação dessa bactéria resultou em um maior rendimento de grãos (Soares *et al.*, 2022).

A utilização do *A. brasilense* no sorgo, pode também trazer benefícios para a cultura sucessora. Soares *et al.* (2023) elucidaram que quando se utiliza essa bactéria na cultura do sorgo, a soja quando vem em sequência tende a responder positivamente em termos de produtividade de grãos, apesar de esses dados terem variado o que demonstra uma certa interação com fatores sazonais, pode-se afirmar que a inoculação do *A. brasilense* traz benefícios para o sistema de produção agrícola.

Segundo Paiva *et al.* (2021), em estudo realizado em condições de solo parecidas com o atual trabalho, encontrou interação positiva entre a inoculação de *A. brasilense* e a produtividade de grãos de sorgo, além de ter minimizado os problemas em decorrência de déficit hídrico.

A inoculação com *A. brasilense* associado com a dose correta de N, traz inúmeros benefícios para a cultura do sorgo. Mortate *et al.* (2020), mostraram que a inoculação da bactéria, associada com a adubação mineral nitrogenada, com dose de 150 a 200 Kg ha⁻¹ de ureia, resultou em maior teor de clorofila, altura de plantas e produtividade de grãos.

Segundo Nakao *et al.* (2014) quando se inocula a bactéria *A. brasilense* via foliar no sorgo granífero, ocorre um maior desenvolvimento vegetativo da planta, tendo incrementos na altura de plantas, diâmetro de colmo, massa seca, peso de grãos e produtividade, além de tornar mais sustentável o sistema de produção.

Assim sendo, esse estudo teve por objetivo analisar como os modos de inoculação da bactéria *Azospirillum brasilense* e a redução da dose de nitrogênio aplicado em cobertura, interferem nas variáveis de produtividade da cultura do sorgo granífero, cultivado na segunda safra na região do Cerrado brasileiro.

2.2 Material e métodos

O trabalho foi conduzido em Chapadão do Sul – MS, no Centro de Pesquisa e Difusão de Tecnologia – 1, área experimental da empresa Difusão Agrícola Consultoria e Pesquisa Agropecuária Ltda.. As coordenadas geográficas aproximadas da área são 52° 45' 24" O e 18° 41' 50" S, com altitude de 813 metros. O estudo foi realizado na segunda safra do ano agrícola 2022/2023 e repetido na segunda safra do ano agrícola 2023/2024.

O clima na região é classificado, segundo Köppen e citado por Alvarez (2013), como Aw, ou seja, tropical de inverno seco. O solo da área experimental é classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico argiloso, seguindo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (DOS SANTOS *et al.*, 2018). Uma amostra de solo, foi coletada antes do início do experimento, para que se pudesse, a partir da análise química, seguir com o melhor manejo de adubação para a cultura. O solo

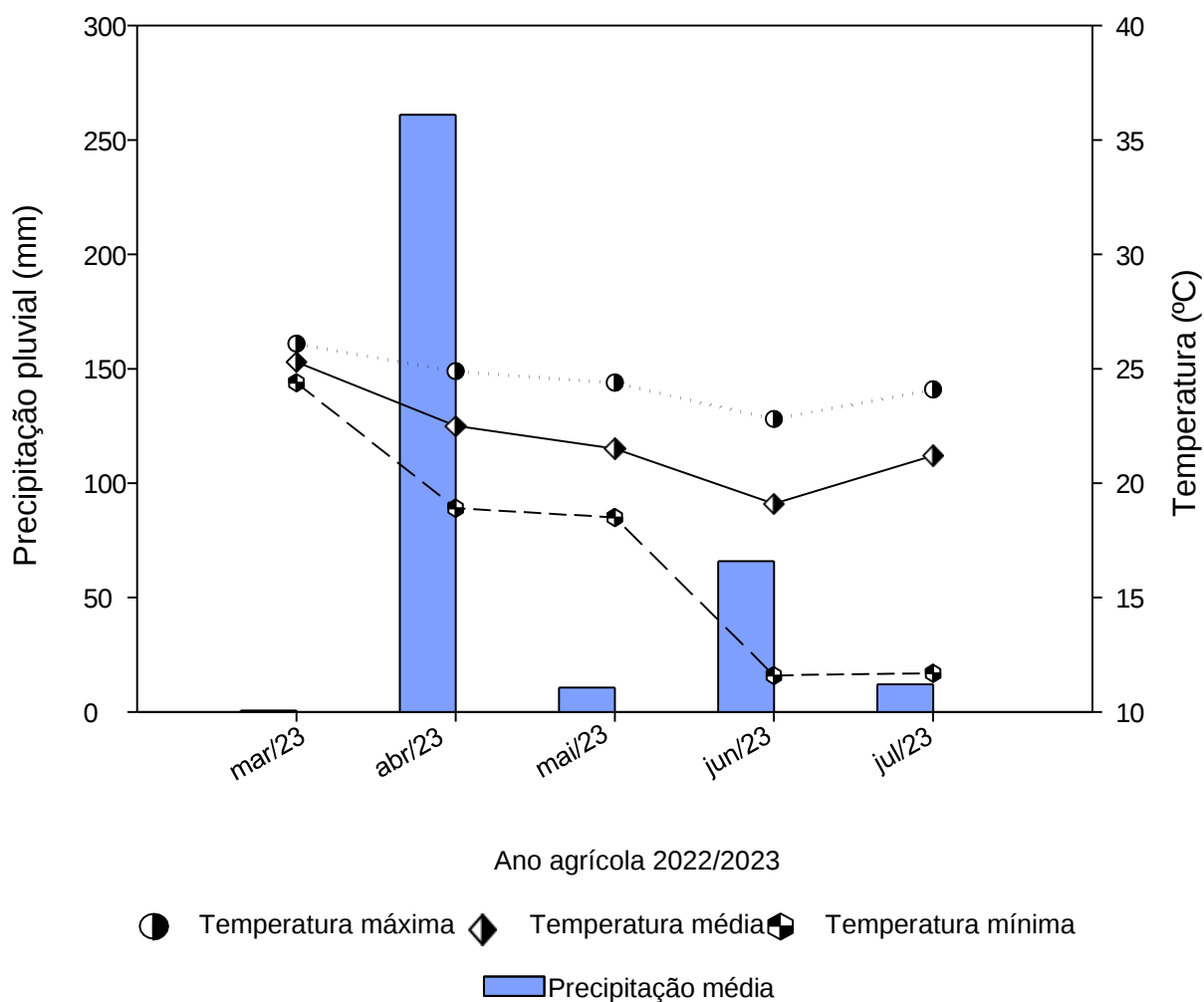
apresenta as seguintes características: 5,15 de pH em CaCl_2 ; 27,82 g dm^{-3} de matéria orgânica; 59,34 de V%; 3,98 cmolc dm^{-3} de Ca; 1,38 cmolc dm^{-3} de Mg; 0,27 cmolc dm^{-3} de K; 29,84 mg dm^{-3} de P (resina) e 516 g dm^{-3} de argila.

A implantação do experimento no ano de 2023 se deu no dia 23 de março e a emergência das plântulas ocorreu 4 dias após a semeadura. No ano de 2024 a semeadura ocorreu no dia 12 de março, sendo que a emergência das plântulas se deu 5 dias após a semeadura. Em ambos os anos, foi utilizado como adubação de semeadura 150 Kg ha^{-1} de fosfato monoamônico (MAP) com formulação 10-48-00.

A semeadura ocorreu de forma direta sobre os restos culturais do cultivo antecessor, no caso a soja. O híbrido de sorgo utilizado foi o Brevant 1G233 e a estirpe de *A. brasilense* foram a Ab-V₅ e a Ab-V₆, advinda do produto comercial Azosphera com 2×10^8 unidades formadoras de colônias (UFC) mL^{-1} .

As condições climáticas (Figura 1 e 2) nos dois anos do trabalho foram bastante distintas. Apesar de o acumulado pluviométrico de 2024 ter sido maior, a distribuição se limitou ao mês de abril, enquanto no ano de 2023 houveram chuvas posteriores, no mês de maio, junho e julho. Na temperatura média também houve diferenças, sendo que no ano de 2024 ela foi 1,15 °C maior do que no primeiro ano de cultivo.

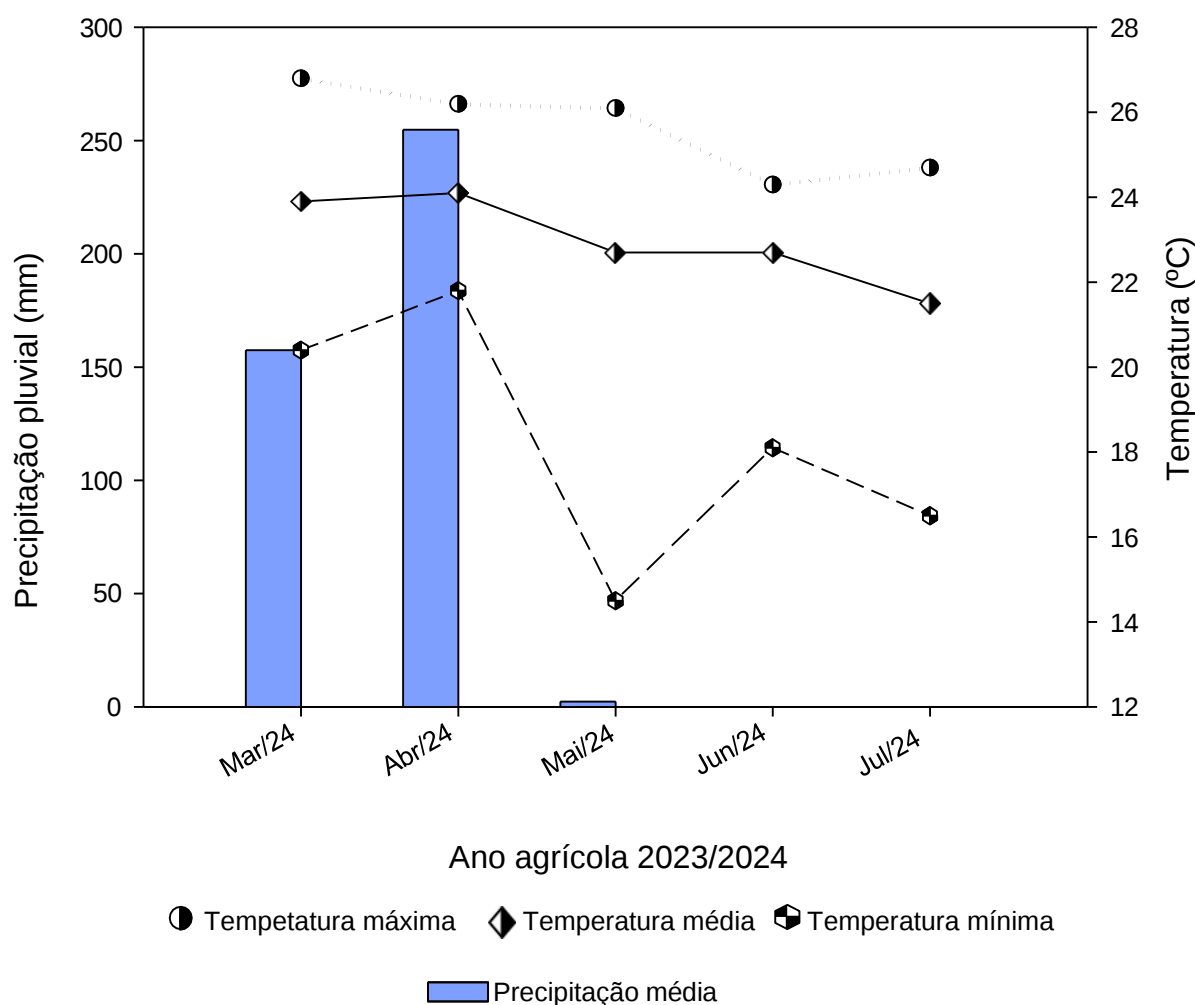
Figura 1 - Dados climáticos de precipitação, temperatura máxima, temperatura média e temperatura mínima, referentes ao período de condução do experimento. Chapadão do Sul/MS, 2023.



Nota: Dados obtidos no site portal.inmet.gov.br

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Figura 2 – Dados climáticos de precipitação, temperatura máxima, temperatura média e temperatura mínima, referentes ao período de condução do experimento. Chapadão do Sul/MS, 2024



Nota: Dados obtidos no site portal.inmet.gov.br

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Este trabalho contempla 8 tratamentos com 5 repetições, totalizando 40 parcelas que foram dispostas no campo utilizando o delineamento em blocos casualizados. Cada parcela continha 10 m de comprimento e 9 linhas de semeadura com espaçamento entrelinhas de 0,45 m, resultando em uma área de 40,5 m².

Todos os tratamentos receberam 15 Kg de N ha⁻¹ no momento da semeadura, o restante foi aplicado em cobertura, no estágio 2, quando é visível a lígula da quinta folha, como recomendado por Cantarella *et al.* (2022). As inoculações de *A. brasilense* via foliar foram realizadas quando às plantas se encontravam no estágio 1 de desenvolvimento, com a lígula da terceira folha visível (PAUL, 1990). Durante a

condução do trabalho foi realizado manejo fitossanitário quando houve necessidade, para o controle de plantas daninhas, pragas e doenças.

Através dos 8 tratamentos testados (Quadro 1), buscou-se observar como os modos de inocular a bactéria *A. brasilense*, associados ou não com a redução da dose de N aplicada em cobertura, influenciaram os caracteres de produção da cultura que foram avaliados (Quadro 2).

Quadro 1. Tratamentos testados. Chapadão do Sul/MS, 2023/2024

	Inoculação	Modo	Dose (1)	Adubado nitrogenado	Dose (2)
Tratamento 1	Não	-	-	Não	-
Tratamento 2	Não	-	-	Sim	120
Tratamento 3	Não	-	-	Sim	90
Tratamento 4	Sim	Sulco	0,20	Sim	90
Tratamento 5	Sim	Tratamento de sementes	0,10	Sim	90
Tratamento 6	Sim	Tratamento de sementes + Via foliar	0,10 + 0,20	Sim	90
Tratamento 7	Sim	Via foliar	0,30	Sim	90
Tratamento 8	Sim	Via foliar	0,30	Sim	120

Nota: Dose (1) L ha⁻¹; Dose (2) (Kg ha⁻¹).

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Foram realizadas 8 avaliações (Quadro 2) visando observar as diferenças existentes entre os tratamentos testados em função das variáveis de produtividade da cultura de interesse.

Quadro 2. Avaliações realizadas no trabalho. Chapadão do Sul/MS, 2023/2024

Avaliações	Unidade de medida	Modo de avaliar
Altura de plantas	cm	No pleno florescimento, aferiu-se a altura média de 5 plantas por parcela, utilizando-se uma régua.
Diâmetro de colmos	mm	No pleno florescimento, aferiu-se o diâmetro do colmo médio de 5 plantas por parcela, utilizando-se um paquímetro digital.
População final de plantas	Plantas ha ⁻¹	Por ocasião da colheita, contou-se o número de plantas nas linhas colhidas e posteriormente extrapolou-se o valor para hectare.
Massa seca da parte aérea	g planta ⁻¹	No pleno florescimento, coletou-se 5 plantas por parcela que foram secas em estufa e pesadas.
N foliar	g Kg ⁻¹	No pleno florescimento, coletou-se o terço médio da quarta folha do ápice para a base da planta, em 10 plantas por parcela. Seguindo a metodologia indicada por Malavolta (1997), no laboratório de aferiu o teor de N foliar.
N grão	g Kg ⁻¹	Por ocasião da colheita, coletou-se uma amostra de grãos de todas as parcelas, que foram avaliadas seguindo a metodologia de Malavolta (1997), obtendo-se o teor de N nos grãos.
Massa de mil grãos	g	Por ocasião da colheita, contou-se 1.000 grãos de sorgo e se aferiu a massa por meio de uma balança de precisão.
Produtividade	Kg ha ⁻¹	Após a colheita e trilha das panículas, aferiu-se o peso de cada amostra, o valor encontrado foi extrapolado chegando-se ao resultado por hectare.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

A análise estatística foi feita através do programa SISVAR, onde se realizou o teste de análise de variância e posteriormente se comparou as médias utilizando o teste de Scott-Knott a 5%.

2.3 Resultados e discussão

Observando-se os dados de altura de plantas apresentados (Tabela 1), verifica-se a influência dos tratamentos utilizados em relação a essa variável. Em ambos os anos houve diferenças entre a altura das plantas e os tratamentos, sendo que onde se efetuou a inoculação da bactéria *A. brasilense* associado com a redução da adubação mineral nitrogenada obteve-se plantas com porte igual ao tratamento onde se utilizou a dose total de nitrogênio mineral. Resultados parecidos foram encontrados por Mortate *et al.* (2020), onde a inoculação dessa bactéria via tratamento de sementes, resultou em uma maior altura de plantas de sorgo.

O diâmetro do colmo (Tabela 1) no ano de 2023 foi influenciado pelos tratamentos, sendo que os menores valores foram encontrados nos tratamentos 1 e 3, sem adubação mineral nitrogenada e com redução de 25% da dose de N aplicado, respectivamente. O que se nota a partir disso é uma relação do diâmetro do colmo com a quantidade de N aplicada e não com a inoculação da bactéria, assim como mostrado por Nakao *et al.*, (2014) & Mortate *et al.*, (2020), onde a inoculação do *A. brasilense*, não gerou ganhos no diâmetro do colmo das plantas. Em Kappes *et al.*, (2013), observa-se que inoculação do *A. brasilense*, não acarretou em diferenças no diâmetro do colmo da cultura do milho.

Para a população final de plantas (Tabela 1), é possível observar que não houve diferenças significativas em função dos tratamentos em nenhum dos dois anos do trabalho. Verifica-se uma tendência de menores valores, nos tratamentos onde não houve a inoculação do *A. brasilense* e também onde a adubação mineral nitrogenada foi reduzida ou anulada. Dados similares mostrados por Mortate *et al.*, (2020), evidenciam menores valores para o estande final de plantas no tratamento sem inoculação e com a menor dose de N. Uma grande vantagem da utilização da bactéria *A. brasilense* está relacionada ao fato dela atuar na produção de fitormônios, como o ácido indolacético, que promove o crescimento vegetal, principalmente do sistema radicular, como mostrado por Bashan & De-Bashan, (2010). O maior desenvolvimento do sistema radicular por sua vez, influencia no melhor desenvolvimento da parte aérea e também minimiza os danos por estresses abióticos, garantindo um melhor estande final de plantas e produtividade.

Tabela 1. Altura de plantas (Alt.plantas), diâmetro de colmos (Dia.colmos) e população final de plantas (Pop. final), na cultura do sorgo granífero, em função dos modos de inoculação de *Azospirillum brasilense* associado à redução na dose de nitrogênio. Chapadão do Sul/MS. 2023-2024.

Tratamentos	Alt. Planta (cm)		Dia. Colmos (mm)		Pop. final (Plantas ha ⁻¹)	
	2023	2024	2023	2024	2023	2024
T₁ Testemunha	102,12 b	98,10 b	19,02 b	18,78	151.581	170.540
T₂ 120 Kg ha⁻¹ de N	106,49 a	105,07 a	22,91 a	20,26	155.977	181.660
T₃ 90 Kg ha⁻¹ de N	102,56 b	99,40 b	19,21 b	19,24	155.214	177.240
T₄ Sulco 0,2 L ha⁻¹	105,72 a	103,10 a	22,57 a	20,06	156.554	180.540
T₅ TS 0,1 L ha⁻¹	106,76 a	104,25 a	23,19 a	20,69	157.087	181.660
T₆ TS 0,1 L ha⁻¹ + Foliar 0,2 L ha⁻¹	106,40 a	104,23 a	22,61 a	21,73	152.114	171.640
T₇ Foliar 0,3 L ha⁻¹	102,46 b	99,45 b	19,64 b	19,09	151.014	183.340
T₈ Foliar 0,3 L ha⁻¹	105,40 a	104,30 a	22,55 a	20,19	154.334	169.440
ANAVA						
F	12,748 **	14,087**	13,284**	2,35 ns	0,103 ns	1,653 ns
Média geral	104,74	102,24	21,46	20	154.234	177.007
CV (%)	1,20	1,45	5,20	6,27	10,73	5,56

ns e **: não significativo e significativo à 1% pelo teste F de análise de variância, respectivamente.

Médias seguidas de mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (5%).

T₁ – Recebeu apenas 15 Kg ha⁻¹ de N, advindos do adubo de semeadura.

T₃; T₄; T₅; T₆ e T₇ – Receberam 90 kg ha⁻¹ de N.

T₈ – Recebeu 120 Kg ha⁻¹ de N.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

A massa seca da parte aérea (Tabela 2) foi influenciada pela inoculação do *A. brasilense*. É possível notar que não há diferenças estatísticas entre o tratamento 2, onde se utilizou a dose completa de N e alguns tratamentos onde a dose de N foi reduzida em 25% e acrescida a bactéria fixadora de nitrogênio, mostrando assim que, a inoculação ajudou a suprir à quantidade de nitrogênio necessária para o desenvolvimento da cultura. Dados parecidos foram encontrados por Andreotti *et al.*, (2016), onde houve uma maior produção de massa seca da cultura do sorgo, quando se utilizou a bactéria *A. brasilense* associada com a adubação mineral nitrogenada. Bossolani *et al.*, (2014) evidencia também que a inoculação do *A. brasilense*, ocasionou maiores valores para a massa seca total da planta de sorgo sacarino.

Quando se analisa dos dados do teor de nitrogênio nas folhas e nos grãos (Tabela 2) nota-se que não houve diferenças em função dos tratamentos. Alguns

trabalhos por sua vez, destacam uma interação positiva da presença dessa bactéria e maiores teores de N nas folhas e nos grãos para outras gramíneas, como por exemplo o milho. Müller *et al.*, (2015) conclui que a inoculação dessa bactéria feita no sulco de semeadura ou via tratamento de sementes, resulta em melhores valores para diversas variáveis, incluindo o teor de nitrogênio foliar e nos grãos da cultura do milho.

Tabela 2. Massa seca da parte aérea (MSPA), teor de nitrogênio foliar (N foliar) e teor de nitrogênio nos grãos (N grão), na cultura do sorgo granífero, em função dos modos de inoculação de *Azospirillum brasilense* associado à redução na dose de nitrogênio. Chapadão do Sul/MS. 2023-2024.

Tratamentos	MSPA (g plantas ⁻¹)		N foliar (g Kg ⁻¹)		N grão (g Kg ⁻¹)	
	2023	2024	2023	2024	2023	2024
T₁ Testemunha	132,6 c	128,0 b	27,84	31,44	12,50	14,85
T₂ 120 Kg ha⁻¹ de N	191,8 a	165,4 a	30,15	32,95	13,84	16,07
T₃ 90 Kg ha⁻¹ de N	145,8 c	149,0 b	27,92	31,62	12,78	15,20
T₄ Sulco 0,2 L ha⁻¹	159,8 b	155,0 a	29,78	32,67	12,98	15,75
T₅ TS 0,1 L ha⁻¹	186,6 a	159,6 a	30,46	33,69	13,60	15,65
T₆ TS 0,1 L ha⁻¹ + Foliar 0,2 L ha⁻¹	160,2 b	153,0 a	30,20	34,01	13,41	15,55
T₇ Foliar 0,3 L ha⁻¹	142,2 c	137,0 b	30,15	32,90	12,47	15,50
T₈ Foliar 0,3 L ha⁻¹	159,2 b	153,8 a	31,06	32,55	14,23	16,05
ANAVA						
F	10,227 **	4,429 **	1,681 ns	1,236 ns	1,334 ns	1,369 ns
Média geral	0,799	0,751	29,70	32,73	13,22	15,58
CV (%)	9,04	7,68	6,12	4,25	8,42	4,51

ns e **: não significativo e significativo à 1% pelo teste F de análise de variância, respectivamente.

Médias seguidas de mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (5%).

T₁ – Recebeu apenas 15 Kg ha⁻¹ de N, advindos do adubo de semeadura.

T₃; T₄; T₅; T₆ e T₇ – Receberam 90 kg ha⁻¹ de N.

T₈ – Recebeu 120 Kg ha⁻¹ de N.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

A massa de mil grãos (Tabela 3) sofreu alterações significativas em função dos tratamentos utilizados, no ano de 2023. Buscando avaliar a eficiência da inoculação da bactéria *A. brasilense* na cultura do sorgo, submetido a estresse hídrico, Paiva *et al.*, (2021) evidenciaram que diversas variáveis ligadas a produção do sorgo podem sofrer alterações pela atuação da bactéria, principalmente quando as plantas foram expostas ao déficit hídrico, a massa de 100 grãos variou em função dos tratamentos, mas teve excelentes resultados onde se utilizou o *A. brasilense* associado à adubação mineral nitrogenada.

É possível de se observar em no ano de 2024 tanto a massa de 100 grãos como a produtividade foram menores do que no ano de 2023. Quando se analisa os dados climáticos do período de condução do experimento, nota-se que em 2024 as chuvas foram concentradas no início do desenvolvimento da cultura, diferente do ano anterior onde as chuvas foram mais recorrentes ao longo do ciclo.

A produtividade da cultura do sorgo pode ser afetada por diversos fatores, como a época de semeadura, estresses bióticos e abióticos e adubação mineral. O *A. brasilense* por atuar fixando N e também produzindo fitormônios, pode estar contribuindo para uma melhor produtividade da cultura do sorgo granífero. Mumbach *et al.*, (2017), mostram que a utilização dessa bactéria pode resultar em incrementos produtivos para outras gramíneas que não o sorgo granífero, com o milho e o trigo, ambas cultivadas na segunda safra. Lopes (2019), por outro lado, mostra que os resultados benéficos da bactéria *A. brasilense* pode variar em decorrência das linhagens genéticas de sorgo utilizadas.

Os dados de produtividade (Tabela 3) deste trabalho diferiram entre si em ambos os anos. Mostrando que houve uma relação entre os tratamentos utilizados e a produtividade de grãos do sorgo. Nota-se que os tratamentos 4, 5 e 6 que receberam apenas 90 Kg de N ha⁻¹, não diferiram estatisticamente dos tratamentos 2 e 8, onde foi aplicado 120 Kg de N ha⁻¹. Resultados como esse corroboram com Soares *et al.*, (2022) onde utilização da bactéria *A. brasilense* inoculada nas sementes do sorgo (cv. Rancheiro) acarretou em ganhos produtivos de 14%.

Levando-se em consideração que a média da produtividade de sorgo no Brasil é de 3.116 Kg ha⁻¹, os resultados encontrados neste trabalho para essa variável estão excelentes. Mesmo no tratamento 1, onde não há a inoculação e a adubação mineral nitrogenada, em ambos os anos a produtividade foi maior do que a média nacional, muito em detrimento das condições edafoclimáticas que a região em que o trabalho foi conduzido tem.

Quando se observa a produtividade do tratamento 2 e a compara com os tratamentos 3 e 4, principalmente, verifica-se que a inoculação com a bactéria *A. brasilense*, seja no sulco ou no tratamento de sementes, contribuiu para o aporte do nitrogênio necessário para a cultura, que mesmo com a restrição de 30% da dose de N mineral recomendada, teve uma produtividade igual. Mostrando que podemos

utilizar essa bactéria visando o suprimento de N para a cultura e também pensando nos benefícios que ela traz por ser uma BPCP.

Tabela 3. Massa de mil grãos (MMG) e produtividade de grãos (Produtividade), na cultura do sorgo granífero, em função dos modos de inoculação de *Azospirillum brasilense* associado a redução na dose de nitrogênio. Chapadão do Sul/MS. 2023-2024.

Tratamentos	MMG (g)		Produtividade (Kg ha ⁻¹)	
	2023	2024	2023	2024
T₁ Testemunha	32,75 b	28,18	7.132 c	6.117 c
T₂ 120 Kg ha⁻¹ de N	34,94 a	30,18	8.457 a	7.848 a
T₃ 90 Kg ha⁻¹ de N	33,61 b	28,94	7.857 b	7.275 b
T₄ Sulco 0,2 L ha⁻¹	34,42 a	29,70	8.274 a	7.635 a
T₅ TS 0,1 L ha⁻¹	34,79 a	29,24	8.415 a	7.663 a
T₆ TS 0,1 L ha⁻¹ + Foliar 0,2 L ha⁻¹	34,59 a	28,98	8.410 a	7.533 a
T₇ Foliar 0,3 L ha⁻¹	33,33 b	28,60	7.816 b	6.700 b
T₈ Foliar 0,3 L ha⁻¹	34,72 a	28,70	8.282 a	7.594 a
ANAVA				
F	2,519 **	1,573 ^{ns}	7,599 **	9,423 **
Média geral	34,14	29,06	8.080	7.333
CV (%)	3,33	3,90	4,59	5,53

ns e **: não significativo e significativo à 1% pelo teste F de análise de variância, respectivamente.

Médias seguidas de mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (5%).

T₁ – Recebeu apenas 15 Kg ha⁻¹ de N, advindos do adubo de semeadura.

T₃; T₄; T₅; T₆ e T₇ – Receberam 90 kg ha⁻¹ de N.

T₈ – Recebeu 120 Kg ha⁻¹ de N.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

2.4 Conclusão

Conclui-se que a inoculação da bactéria *A. brasilense*, via sulco com dose de 0,20 L ha⁻¹ ou no tratamento de sementes com dose de 0,10 L ha⁻¹, pode ser utilizada como forma de substituir 25% da dose de N mineral recomendada em cobertura para a cultura do sorgo granífero, sem que haja perdas em produtividade.

REFERÊNCIAS

- ANDREOTTI, M.; NAKAO, A. H.; DICKMANN, L.; MODESTO, V. C.; SOARES, D.; MORAES, G. N. Inoculação com *Azospirillum brasilense* no Consórcio Capim-Paiguás e Sorgo na Safrinha: Comportamento Produtivo das Culturas para Silagem. In: Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 31., 2016, Bento Gonçalves. **Anais** [...] Sete Lagoas: ABMS, 2016. p. 1090-1094. Disponível em: https://www.abms.org.br/cnms2016_trabalhos/docs/897.pdf. Acesso em: 25 jul. 2025.
- ALDRICH, S. R.; SCOTT, W. D.; LENG, E. R. **Produção moderna de milho**. 2. ed. Champaign, Illinois: A & L Publications, 1978. 378 p.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Acesso em: 28 jul. 2025.
- BASHAN, Y.; DE-BASHAN, L. E. How the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* promotes plant growth: a critical assessment. **Advances in Agronomy**, v. 108, p. 77–136, 2010. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)08002-8](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)08002-8). Acesso em: 28 de julho de 2025.
- BOSSOLANI, J. W.; LAZARINI, E.; SOUZA, L. G. M.; OLIVEIRA, C. O.; RODRIGUES, V. A. Avaliação do sorgo sacarino em função de inoculação com *Azospirillum brasilense* e doses de N em cobertura. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 19, p. 329–338, 2014. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2014b/AGRARIAS/avaliacao%20de%20sorgo.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2025.
- BOTTINI, R.; FULCHIERI, M.; PEARCE, D.; PHARIS, R. P. Identification of gibberellins A(1), A(3), and iso-A(3) in cultures of *Azospirillum lipoferum*. **Plant Physiology**, v. 90, n. 1, p. 45–47, 1989. Disponível em: <https://doi.org/10.1104/pp.90.1.45>. Acesso em: 24 mar. 2025.
- BURDMAN, S.; OKON, Y.; JURKEVITCH, E. Surface characteristics of *Azospirillum brasilense* in relation to cell aggregation and attachment to plant roots. **Critical Reviews in Microbiology**, v. 26, n. 2, p. 91–110, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10408410091154200>. Acesso em: 28 jul. 2025.
- BLUM, A.; SULLIVAN, C. Y. The comparative drought resistance of landraces of sorghum and millet from dry and humid regions. **Annals of Botany**, v. 57, n. 6, p. 835–846, 1986. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a087168>. Acesso em: 15 abr. 2025.

CANEPELLE, E. ***Azospirillum brasilense* e fungos micorrízicos arbusculares no desenvolvimento do sorgo granífero e sua ocorrência em solo contaminado com cobre**. 2023. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/29414>. Acesso em: 28 jul. 2025.

CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; MATTOS JR., D.; MARCELLI BOARETTO, R.; VAN RAIJ, B. Cereais. In: FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA AGRÍCOLA. **Boletim 100**: Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Cap. 3.7, p. 213–238, 2022.

COMEXVIS. **Comex Stat**. Brasília, DF: Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. Disponível em: <https://comexstat.mdic.gov.br/pt/comex-vis/4/562>. Acesso em: 22 maio 2025.

EASTIN, J. D. *Photosynthesis and translocation in relation to plant development*. In: **Sorghum in Seventies**. Oxford & IBH Pub. Co., 1972.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1094003>. Acesso em: 9 de junho de 2025.

HUERGO, L. F. *et al.* Regulation of nitrogen fixation in *Azospirillum brasilense*. In: CASSÁN, F. D.; GARCÍA DE SALAMONE, I. (org.). ***Azospirillum sp.*: Cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina**. Buenos Aires: Asociación Argentina de Microbiología, 2008. p. 17–35. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/215588669_Azospirillum_Cell_physiology_plant_response_agronomic_and_environmental_research_in_Argentina. Acesso em: 24 abr. 2025.

INTERNATIONAL FERTILIZER ASSOCIATION – IFA. **Fertilizer use by crop and country for the 2017-2018 period**. Paris, 2022. Disponível em: <https://www.ifastat.org/consumption/fertilizeruse-by-crop>. Acesso em: 28 jul. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Banco de dados meteorológicos**. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: 2 abr. 2025.

KAPPES, C.; ARF, O.; ARF, M. V.; FERREIRA, J. P.; DAL BEM, E. A.; PORTUGAL, J. R.; GONÇALVES, R. V. Inoculação de sementes com bactéria diazotrófica e aplicação de nitrogênio em cobertura e foliar em milho. **Semina**: Ciências Agrárias, Campinas, v. 34, n. 2, p. 527–538, mar./abr. 2013. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4457/445744120006.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2025.

KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. **Water relations of plants and soils**. San Diego: Academic Press, 1995. Disponível em: <http://udspace.udel.edu/handle/19716/2830>. Acesso em: 15 abr. 2025.

LINO, L. O. **Características anatômicas e fisiológicas de genótipos de sorgo contrastantes para tolerância à seca**. 2011. 85 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011. disponível em: https://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/1647/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Caracter%C3%ADsticas%20anat%C3%B4micas%20e%20fisiol%C3%B3gicas%20de%20gen%C3%B3tipos%20de%20sorgo%20contrastantes%20para%20toler%C3%A2ncia%20%C3%A0%20seca.pdf. Acesso em: 15 abr. 2025.

LOPES, E. M. G. **Perspectivas de uso de formulação de *Azospirillum brasilense* via foliar em linhagens de sorgo**. 2019. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/ICAS-BCUQCB>. Acesso em: 20 maio 2025.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS, 1997. Acesso em: 01 abr. 2025.

MORTATE, R. K.; NUNES, B. de M.; COSTA, E. M.; ROCHA, E. M. F.; VENTURA, M. V. A.; PEREIRA, L. S. Resposta de sorgo inoculado com *Azospirillum brasilense* a doses de nitrogênio em cobertura. **Ciência Agrícola**, Rio Largo, v. 18, n. 1, p. 65–72, 2020. DOI: <https://doi.org/10.28998/rca.v18i1.7388>. Disponível em: <https://www.seer.ufal.br/index.php/revistacienciaagricola/article/view/7388>. Acesso em: 10 abr. 2025.

MUMBACH, G. L.; KOTOWSKI, I. E.; SCHNEIDER, F. J. A.; MALLMANN, M. S.; BONFADA, E. B.; PORTELA, V. O.; KAISER, D. R. Resposta da inoculação com *Azospirillum brasilense* nas culturas de trigo e de milho safrinha. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 18, n. 2, p. 97–103, 2017. Disponível em: DOI: <https://doi.org/10.5380/rca.v18i2.51475>. Acesso em: 30 jul. 2025.

MÜLLER, T. M.; SANDINI, I. E.; RODRIGUES, J. D.; NOVAKOWISKI, J. H.; BASI, S.; KAMINSKI, T. H. Combination of inoculation methods of *Azospirillum brasilense* with broadcasting of nitrogen fertilizer increases corn yield. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 46, n. 2, p. 210–215, fev. 2016. DOI: 10.1590/0103-8478cr20131283. Acesso em: 28 jul. 2025.

MCCULLY, M. E. How do real roots work? (Some new views of root structure). **Plant Physiology**, v. 109, n. 1, p. 1–6, 1995. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC157558/>. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.109.1.1>. Acesso em: 15 abr. 2025.

NAKAO, A. H.; SOUZA, M. F. P.; DICKMANN, L.; CENTENO, D. C.; RODRIGUES, R. A. F. Resposta do sorgo granífero à aplicação de diferentes doses e épocas de inoculante (*Azospirillum brasilense*) via foliar. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 10, n. 18, p. 2702–2714, 2014. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2014a/AGRARIAS/Resposta%20do%20sorgo.pdf>. Acesso em: 01 maio 2025.

PAIVA, A. P. L.; LANA, U. G. P.; MAGALHÃES, P. C.; CARVALHO, L. P.; JALES, H. F.; CÉSAR JÚNIOR, C. G.; MARRIEL, I. E. Caracterização ecofisiológica de sorgo granífero inoculado por *Azospirillum brasilense* e submetido à restrição hídrica.

Caderno Saberes, Sete Lagoas, v. 7, p. 46–52, 2021. Disponível em: <https://revista.unifemm.edu.br/index.php/Saberes/article/view/67>. Acesso em: 31 mar. 2025.

PAUL, C. L. **Agronomía del sorgo**. India: Instituto Internacional para la Investigación en Cultivos para los Trópicos Semiáridos (ICRISAT); Comisión Latinoamericana de Investigadores de Sorgo, 1990.

PEREIRA, J. A. R.; CAVALCANTE, V. A.; BALDANI, J. I.; DÖBEREINER, J. Field inoculation of sorghum and rice with *Azospirillum* spp. and *Herbaspirillum seropedicae*. **Plant and Soil**, v. 110, p. 269–274, 1988. Disponível em: DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02226807>. Acesso em: 30 jul. 2025.

PIMENTEL, Carlos. Respostas adaptativas das plantas à deficiência hídrica. In: **A relação da planta com a água**. Seropédica: EDUR, 2004. cap. 6, p. 144–171. ISBN 85-85720-45-X. Acesso em: 15 abr. 2025.

RODRIGUES, J. A. S. **Cultivo do sorgo**. 9. ed. Sete Lagoas, MG: Embrapa, 2015. 271 p. ISSN 1679-012X. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/994083>. Acesso em: 19 abr. 2025.

SOARES, D. A.; MODESTO, V. C.; NAKAO, A. H.; SOARES, W. R.; FREITAS, L. A.; DICKMANN, L.; PASCOALOTO, I. M.; ANDREOTTI, M. Soybean yield and nutrition grown on the straw of grain sorghum inoculated with *Azospirillum brasilense* and intercropped with BRS Paiaguás grass. **Plants**, v. 12, p. 2007, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/12/10/2007>. Acesso em: 12 abr. 2025.

SOARES, D. A.; MODESTO, V. C.; NAKAO, A. H.; SOARES, W. R.; FREITAS, L. A.; DICKMANN, L.; PASCOALOTO, I. M.; ANDREOTTI, M. Inoculação com *Azospirillum* combinada com adubação nitrogenada em sorgo consorciado com *Urochloa* na entressafra. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 69, p. 227–235, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rceres/a/JTxgtFvLrjRJK8cJRPkQpPP/>. Acesso em: 20 jul. 2025.

TIEN, T. M.; GASKINS, M. H.; HUBBELL, D. H. Plant growth substances produced by *Azospirillum brasilense* and their effect on the growth of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.). **Applied and Environmental Microbiology**, v. 37, p. 1016–1024, 1979. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC243341/>. Acesso em: 24 abr. 2025.

TURNER, N. C. Adaptation to water deficits: a changing perspective. **Functional Plant Biology**, v. 13, n. 1, p. 175–190, 1986. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/PP9860175>. Acesso em: 15 abr. 2025.

VERÍSSIMO, J. P. **Doses e modos de aplicação de *Azospirillum brasilense* e parâmetros de produtividade na cultura do milho**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) — Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Engenharia, Campus de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2022. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/235891>. Acesso em: 22 abr. 2025.

VERGÜTZ, L.; NOVAIS, R. F. Adubação. In: BORÉM, Aluizio; PIMENTEL, Leonardo; PARELLA, Rafael (org.). **Sorgo do plantio à colheita**. Viçosa, MG: UFV, 2014. Cap. 6, p. 144–168.

CAPÍTULO 3 – Análise econômica da utilização da bactéria *Azospirillum brasilense* com a redução do nitrogênio aplicado em cobertura na cultura do sorgo granífero

RESUMO

O sorgo granífero é de grande importância econômica pois pode ser utilizado na alimentação de humano e também na alimentação de animais de interesse zootécnicos. Pensando nisso torna-se de grande importância o estudo econômico de como as práticas culturais e os manejos empregados durante o cultivo, podem influenciar nas variáveis econômicas dessa cultura. O objetivo deste trabalho foi analisar como a utilização da bactéria *Azospirillum brasilense* e a redução da dose de nitrogênio aplicado em cobertura, interferem no potencial econômico e na rentabilidade do cultivo do sorgo granífero, cultivado na segunda safra na região do Cerrado brasileiro. Este trabalho foi conduzido na segunda safra dos anos agrícolas de 2022/2023 e 2023/2024, no município de Chapadão do Sul – MS. O trabalho contempla 8 tratamentos: T₁ – Testemunha absoluta, apenas adubação de semeadura; T₂ – Adubação mineral nitrogenada 120 Kg ha⁻¹; T₃ – Adubação mineral nitrogenada 90 Kg ha⁻¹; T₄ – *A. brasilense* via sulco 0,2 L ha⁻¹ + Adubação mineral nitrogenada 90 Kg ha⁻¹; T₅ – *A. brasilense* via tratamento de sementes 0,1 L ha⁻¹ + Adubação mineral nitrogenada 90 Kg ha⁻¹; T₆ – *A. brasilense* via tratamento de sementes 0,1 L ha⁻¹ + *A. brasilense* via foliar 0,2 L ha⁻¹ + Adubação mineral nitrogenada 90 Kg ha⁻¹; T₇ – *A. brasilense* via foliar 0,3 L ha⁻¹ + Adubação mineral nitrogenada 90 Kg ha⁻¹; T₈ – *A. brasilense* via foliar 0,3 L ha⁻¹ + Adubação mineral nitrogenada 120 Kg ha⁻¹. Após a coleta dos dados foram realizadas as análises do custo operacional total, custo operacional efetivo e índice de rentabilidade para esse cultivo. Conclui-se que a inoculação da bactéria *A. brasilense* seja no sulco de semeadura ou via tratamento de sementes, com dose de 0,2 e 0,1 L ha⁻¹ respectivamente, contribuem para a redução dos custos operacionais totais e aumenta o índice de lucratividade da cultura do sorgo granífero.

Palavras-chave: custo operacional total; índice de lucratividade e bactérias promotoras de crescimento de plantas.

3.1 Introdução

O sorgo granífero é de grande importância econômica pois pode ser utilizado na alimentação de humanos, que ocorre muito no continente africano, assim como pode ser incorporado às rações de animais de interesse zootécnico, muito vezes sendo um substituto para o milho. Segundo dados da FAOSTAT (2023), o sorgo é 6º cereal mais produzido no mundo.

Hoje no Brasil o sorgo granífero vem ganhando cada vez mais espaço, principalmente na segunda safra, substituindo o milho que tende a ser mais sensível

às condições edafoclimáticas e ao ataque de pragas e doenças. No atual agrícola a área cultivada com sorgo granífero ultrapassa 1,5 milhões de hectares com uma produção estimada em 4,9 milhões de toneladas de grãos (CONAB, 2025).

A produtividade média do sorgo granífero no Brasil é de 3.182 Kg ha⁻¹, sendo que o potencial genético dessa cultura pode ultrapassar 10.000 Kg ha⁻¹ (RODRIGUES, 2015). Muitos fatores interferem na produtividade, incluindo as condições edafoclimáticas, insumos e tratos culturais. O custo de produção também está atrelado a esses fatores.

Quando se analisa o custo de produção do sorgo, nota-se que a média dos dois últimos anos nos 3 principais Estados produtores, Goiás, Minas Gerais e Tocantins foi de R\$ 39,75/saco de 60Kg (CONAB, 2025). O valor da saca de 60 Kg de sorgo, historicamente, é em torno de 20% mais baixo em comparação com a saca de milho, o que o torna desejado para a alimentação animal, visto que as qualidades bromatológicas de ambos são similares, portanto, a utilização do sorgo, pode reduzir os custos de produção na pecuária.

A utilização de microrganismos no setor agrícola brasileiro vem crescendo muito nos últimos anos, levando a redução nos custos de produção e tornando os sistemas produtivos mais sustentáveis. Bactérias do gênero *Rhizobium* já são utilizadas na agricultura desde os anos 1920, visando a fixação biológica de nitrogênio para a cultura da soja, onde essa simbiose entre planta e bactéria, permite que não seja necessário o aporte de nitrogênio mineral para que a cultura tenha bom desenvolvimento e produtividade (HUNGRIA, 2007; MEYER, 2022).

Para as gramíneas o gênero de bactérias responsável pela fixação biológica de nitrogênio e pela promoção do crescimento vegetal é o *Azospirillum*. Dentre as espécies, a mais utilizada é a *brasiliense*. Burdman *et al.*, (2000) mostram que essas bactérias conseguem se associar as raízes de plantas e trazer benefícios para o desenvolvimento das mesmas, uma vez que podem contribuir com fixação biológica de nitrogênio e também na promoção do desenvolvimento do sistema radicular, o que leva a planta a uma maior eficiência na absorção de água e nutrientes.

A utilização da bactéria *Azospirillum brasiliense* visa o fornecimento de N, através da fixação biológica desse nutriente e também a melhoria das variáveis de produtividade por se tratar também de uma bactéria promotora de crescimento

vegetal (HUNGRIA, 2011). O incremento dessa bactéria dentro do sistema de produção do sorgo granífero, traria diversos benefícios, inclusive a diminuição do custo de produção.

Existem poucas informações sobre o valor econômico e a rentabilidade da cultura do sorgo granífero, sobretudo quando se faz a utilização da bactéria *A. brasilense* no sistema de produção. Assim, torna-se de grande valia um estudo econômico das implicações da utilização dessa bactéria e da redução da dose de N aplicado em cobertura sobre os índices econômicos que envolvem essa cultura.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi analisar se a utilização da bactéria *Azospirillum brasilense* e a redução da dose de nitrogênio aplicado em cobertura, interferem no potencial econômico e na rentabilidade do cultivo do sorgo granífero, cultivado na segunda safra na região do Cerrado brasileiro.

3.2 Material e métodos

Este trabalho foi conduzido na segunda safra dos anos agrícolas de 2022/2023 e 2023/2024, no Centro de Pesquisa e Difusão de Tecnologia 1, pertencente à Difusão Agrícola Consultoria e Pesquisa Agropecuária Ltda., situada no município de Chapadão do Sul – MS. As coordenadas geográficas da área onde o trabalho foi realizado são 52° 45' 24" O e 18° 41' 50" S.

A região onde o trabalho foi realizado tem clima classificado como Aw, seguindo a classificação de Köppen, citado por Alvarez (2013). Esse tipo climático é caracterizado por duas estações muito bem definidas sendo o verão úmido e inverno seco. Quando se observa o solo, trata-se de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico argiloso (DOS SANTOS et al., 2018). O solo do local onde o trabalho foi conduzido tem às seguintes características: 5,15 de pH em CaCl₂; 27,82 g dm⁻³ de matéria orgânica; 59,34 de V%; 3,98 cmolc dm⁻³ de Ca; 1,38 cmolc dm⁻³ de Mg; 0,27 cmolc dm⁻³ de K; 29,84 mg dm⁻³ de P (resina) e 516 g dm⁻³ de argila.

A instalação do experimento ocorreu nos dias 23 de março no ano de 2023 e em 12 de março no ano de 2024. Em ambos os anos foi utilizado 150 Kg ha⁻¹ de fosfato monoamônio (MAP) com formulação 10-48-00. A semeadura ocorreu em sistema plantio direto (SPD) sobre os restos culturais do cultivo antecessor, no caso,

soja (*Glycine max*). O híbrido de sorgo utilizado foi o Brevant 1G233, material adaptado à região com ciclo de aproximadamente 120 dias.

Foi utilizado o produto comercial Azosphera, que contém as cepas Ab-V₅ e Ab-V₆ da bactéria *A. brasilense*, com 2×10^8 unidades formadoras de colônias. Como fonte de nitrogênio mineral, foi utilizado uréia com formulação 46-00-00.

O trabalho contempla 8 tratamentos, dispostos a campo em delineamento em blocos casualizados com 5 repetições. Os tratamentos testados foram: T₁ – Testemunha absoluta, apenas adubação de semeadura; T₂ – Adubação mineral nitrogenada 120 Kg ha⁻¹; T₃ – Adubação mineral nitrogenada 90 Kg ha⁻¹; T₄ – *A. brasilense* via sulco 0,2 L ha⁻¹ + Adubação mineral nitrogenada 90 Kg ha⁻¹; T₅ – *A. brasilense* via tratamento de sementes 0,1 L ha⁻¹ + Adubação mineral nitrogenada 90 Kg ha⁻¹; T₆ – *A. brasilense* via tratamento de sementes 0,1 L ha⁻¹ + *A. brasilense* via foliar 0,2 L ha⁻¹ + Adubação mineral nitrogenada 90 Kg ha⁻¹; T₇ – *A. brasilense* via foliar 0,3 L ha⁻¹ + Adubação mineral nitrogenada 90 Kg ha⁻¹; T₈ – *A. brasilense* via foliar 0,3 L ha⁻¹ + Adubação mineral nitrogenada 120 Kg ha⁻¹.

Aplicação de *A. brasilense* via foliar ocorreu no estágio 1, quando a planta estava com a terceira folha completamente desenvolvida. A adubação mineral em cobertura ocorreu no estágio 2, quando a planta estava com a 5ª folha completamente desenvolvida como recomendado por Cantarella *et al.* (2022) e seguindo a classificação fenológica de Paul (1990).

O cálculo da análise econômica seguiu a estrutura proposta por Matsunaga *et al.* (1976), levando-se em consideração o custo operacional total (COT). O custo operacional efetivo (COE) foi encontrado através da soma dos custos com operações mecanizadas e insumos utilizados para a condução da cultura. O custo com insumos foi obtido através da multiplicação do montante utilizado pelo seu valor de mercado. Todos os preços foram atualizados para o mês de maio de 2025.

Para o cálculo da rentabilidade usou-se a metodologia de Martin *et al.* (1998), onde se é calculado a receita bruta (RB), que é a multiplicação do total de grãos produzidos em sacas de 60 Kg pelo valor da recebido pelo produtor por cada saca vendida; o lucro operacional (LO) que é a diferença entre a RB e o COT; o índice de lucratividade que é obtido pela proporção entre LO e RB em porcentagem; o preço de equilíbrio (PE) seria o preço mínimo por saca de 60 Kg que o produtor precisaria

receber para cobrir o COT em função da produtividade obtida; e a produtividade de equilíbrio (ProE) seria a produtividade mínima que permitiria cobrir o COT em função do preço médio recebido pela saca de 60 Kg de grãos.

Para tornar mais fácil os cálculos e a interpretação dos dados, todos os valores de produtividade que antes eram expressos em Kg ha⁻¹, foram convertidos para sacas de 60 Kg ha⁻¹. O preço médio por saca de 60 Kg de grãos de sorgo recebido pelos produtores no mês de maio de 2025 foi de R\$ 46,40 (AGROLINK). E os juros do custeio foi de 10% visando atingir as grandes propriedades rurais que é a realidade da região onde o trabalho foi realizado.

3.3 Resultados e discussão

O custo de produção do sorgo granífero para o tratamento 5 nas condições do atual trabalho foi de R\$ 3.819,38 ha⁻¹ no ano de 2023 e R\$ 3.755,91 ha⁻¹ no ano de 2024. A metodologia do COT foi utilizada em todos os tratamentos, porém apenas apresenta-se abaixo (Tabela 4) os dados referentes ao tratamento 5 no ano de 2023, onde foi utilizado a inoculação de *A. brasilense* via tratamento de sementes com dose de 0,1 L ha⁻¹, associado com a adubação mineral nitrogenada reduzida em 25%.

O custo de operação mecanizada dentro deste trabalho representou 31,94% do COT, enquanto os insumos representaram 58,97% do total, corroborando com dados de Leal *et al.*, (2013) onde os custos com insumos também foram maiores do que os custos de operações mecanizadas. Sendo assim, observa-se que os custos com os insumos agrícolas são responsáveis pela maior parte dos custos de produção.

Quando se observa a composição dos custos com as operações mecanizadas, nota-se que 55% advém da operação de semeadura, que tem uma eficiência operacional menor do que as demais, o que justifica o custo maior. Observando os custos com insumos, pode-se notar que 54,74% provém dos adubos minerais utilizados na semeadura e em cobertura. A uréia, adubo utilizado como fonte de N e aplicado em cobertura, representou 16,78% dos custos dos insumos. Leal *et al.*, (2013) observaram que os custos com a adubação mineral

representavam maior proporção nos custos com insumos, neste estudo a adubação mineral nitrogenada para a cultura do sorgo contribuiu para o aumento da produtividade, mas não o suficiente para que houvesse rentabilidade no sistema de produção.

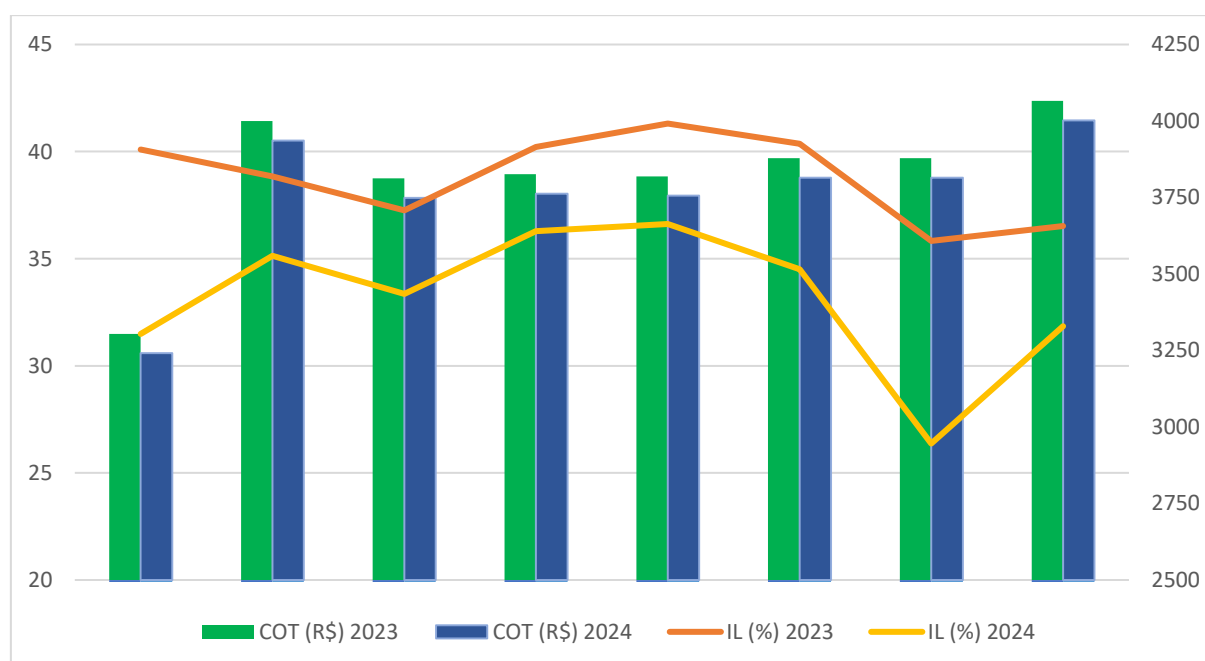
Tabela 4. Estimativa do custo operacional total (COT) para a cultura do sorgo granífero, em função do tratamento 5 (inoculação de *A. brasilense* via tratamento de sementes + adubação mineral nitrogenada reduzida em 25%). Chapadão do Sul - MS. 2023.

DESCRIÇÃO	Especificação	nº vezes	Quantidade	Valor unitário (R\$)	Total (R\$)
A) Operações mecanizadas					
Semeadura e adubação de base	HM	1	2,00	336,00	672,00
Adubação de cobertura	HM	2	0,17	230,00	78,20
Colheita	HM	1	0,67	329,34	219,34
Pulverização	HM	6	0,17	245,59	250,50
SUBTOTAL A					1.220,04
B) Insumos					
Formulado 10-48-00	Kg	1	150,00	5,70	855,00
Ureia	Kg	1	90,00	4,20	378,00
Azosphera (Tratamento de sementes)	L	1	0,10	60,00	6,00
Semente Sorgo Brevant 1G233	sc	1	8,00	32,60	260,80
Atrazina (herbicida)	L	1	3,00	20,00	60,00
Lannate (inseticida)	L	1	1,00	30,00	30,00
Fusão (fungicida)	L	1	0,60	75,00	45,00
Fighter (adjuvante)	L	6	0,10	70,00	42,00
Hero (inseticida)	L	2	0,20	175,00	70,00
Orkestra (fungicida)	L	1	0,35	342,00	119,70
Óleo Mineral	L	4	0,30	14,00	16,80
Prêmio (inseticida)	L	2	0,14	579,00	162,12
Prêmio star (inseticida)	L	1	0,30	279,00	83,70
Unizeb Gold (fungicida)	Kg	2	1,50	27,00	81,00
Zeus (inseticida)	L	1	0,50	84,00	42,00
SUBTOTAL C					2.252,12
Custo Operacional Efetivo (COE)					3.472,16
Outras despesas (5% COE)					173,61
Juros de Custeio (10%)					173,61
Custo Operacional Total (COT)					3.819,38

Fonte: Próprio autor

O custo com o inoculante contendo a *A. brasilense* com dose de 0,1 L ha⁻¹ foi de R\$ 6,00 ha⁻¹. A utilização dessa bactéria permite que se possa reduzir a dose de N em 25% sem que haja perdas em produtividade (EMBRAPA, 2022). Através da utilização da *A. brasilense* nota-se que o índice de rentabilidade aumenta, uma vez que os custos de produção diminuem ao passo de que não há perdas em produtividade. Em ambos os anos o índice de lucratividade (Figura 3) foi maior nos tratamentos 4 e 5 encontrando-se média de 38,25 e 38,97 %, respectivamente.

Figura 3. Análise do custo operacional total (COT) e índice de lucratividade (IL) para a cultura do sorgo granífero em função dos modos de inoculação de *Azospirillum brasilense* e da redução do nitrogênio mineral aplicado em cobertura. Chapadão do Sul – MS. 2025.



Fonte: Próprio autor

Tabela 5. Indicadores de rentabilidade para a cultura do sorgo granífero, em função dos modos de inoculação de *Azospirillum brasilense* e da redução do nitrogênio mineral aplicado em cobertura, nos anos agrícolas de 2022/2023 e 2023/2024. Chapadão do Sul – MS. 2025.

Trat	Ano	Prod	Sc	COT	RB	LO	IL	PE	ProE
1	2023	7132	119	3304,47	5515,41	2210,94	40,09	27,80	71,22
	2024	6117	102	3241,00	4730,48	1489,48	31,49	31,79	69,85
2	2023	8457	141	3999,89	6540,08	2540,19	38,84	28,38	86,20
	2024	7848	131	3936,42	6069,12	2132,70	35,14	30,09	84,84
3	2023	7857	131	3812,78	6076,08	2263,30	37,25	29,12	82,17
	2024	7275	121	3749,31	5626,00	1876,69	33,36	30,92	80,80
4	2023	8274	138	3825,98	6398,56	2572,58	40,21	27,74	82,46
	2024	7635	127	3762,51	5904,40	2141,89	36,28	29,57	81,09
5	2023	8415	140	3819,38	6507,60	2688,22	41,31	27,23	82,31
	2024	7663	128	3755,91	5926,05	2170,14	36,62	29,41	80,95
6	2023	8410	140	3878,50	6503,73	2625,23	40,37	27,67	83,59
	2024	7533	126	3815,03	5825,52	2010,49	34,51	30,39	82,22
7	2023	7816	130	3878,50	6044,37	2165,87	35,83	29,77	83,59
	2024	6700	112	3815,03	5181,33	1366,30	26,37	34,16	82,22
8	2023	8282	138	4065,61	6404,75	2339,14	36,52	29,45	87,62
	2024	7594	127	4002,14	5872,69	1870,55	31,85	31,62	86,25

Trat - tratamentos; Prod - Produtividade (Kg ha⁻¹); Sc – produtividade em sacas ha⁻¹; COT - Custo Operacional Total (R\$); RB - Renda Bruta (R\$); LO - Lucro Operacional (R\$); IL - Índice de Lucratividade (R\$); PE - Preço de equilíbrio (R\$ sc⁻¹); ProE - Produtividade de equilíbrio (sc ha⁻¹).

Fonte: Próprio autor

Observa-se que apesar do tratamento 2 ter as maiores produtividades, o lucro operacional é menor quando comparado com os tratamentos 4 e 5, onde se utilizou a bactéria como forma de substituir 25% da dose de nitrogênio. Com um custo de produção menor e uma produtividade igual, esses tratamentos têm melhores índices de rentabilidade.

Por fim, nota-se que a utilização de microrganismos dentro dos sistemas de produção, é essencial para que se possa ter uma produção sustentável, do ponto de vista, econômico, ambiental e social, uma vez que essas bactérias contribuem para o desenvolvimento das culturas e torna a produção mais rentável (GOMES *et al.*, 2021).

3.4 Conclusão

- Conclui-se que a inoculação da bactéria *A. brasilense* seja no sulco de semeadura ou via tratamento de sementes com dose de 0,2 e 0,1 L ha⁻¹, respectivamente, contribui para a redução dos custos operacionais totais e aumenta o índice de lucratividade da cultura do sorgo granífero.

REFERÊNCIAS

- AGROLINK. **Cotações de grãos**. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/cotacoes/graos/>. Acesso em: 25 maiO 2025.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Acesso em: 28 jul. 2025.
- BURDMAN, S.; OKON, Y.; JURKEVITCH, E. Surface characteristics of *Azospirillum brasilense* in relation to cell aggregation and attachment to plant roots. **Critical Reviews in Microbiology**, v. 26, n. 2, p. 91–110, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10408410091154200>. Acesso em: 28 jul. 2025.
- CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; MATTOS JR., D.; MARCELLI BOARETTO, R.; VAN RAIJ, B. Cereais. In: FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA AGRÍCOLA. **Boletim 100**: Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Cap. 3.7, p. 213–238, 2022.
- COMEXVIS. **Comex Stat**. Brasília, DF: Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. Disponível em: <https://comexstat.mdic.gov.br/pt/comex-vis/4/562>. Acesso em: 22 maio 2025.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**: 7º levantamento. 2025. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 12 abr. 2025.
- SANTOS, H. G. dos *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1094003>. Acesso em: 9 jun. 2025.
- EMBRAPA. **Bioinsumo pode reduzir em 25% o nitrogênio usado na adubação de cobertura do milho**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/76531079/bioinsumo-pode-reduzir-em-25-o-nitrogenio-usado-na-adubacao-de-cobertura-do-milho>. Acesso em: 31 maio 2025.
- FAOSTAT. *Crops and livestock products*. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acesso em: 25 maio 2025.
- GOMES, J. P. A.; MOULIN, M. M.; SOUZA, M. N.; SANTOS JÚNIOR, A. C. Uso de microrganismos eficientes como alternativa para agricultura sustentável: um referencial teórico. **Agroecologia**: métodos e técnicas para uma agricultura sustentável, v. 5, p. 340–355, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.37885/210604968>. Acesso em: 2 jun. 2025.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. **A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja**: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro. Londrina: Embrapa Soja; Embrapa Cerrados, 2007. 80 p. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/468512>. Acesso em: 30 maio 2025.

HUNGRIA, M. **Inoculação com *Azospirillum brasilense***: inovação em rendimento a baixo custo. Londrina: Embrapa Soja, 2011. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/879471>. Acesso em: 25 mai. 2025.

LEAL, S. T.; TARSITANO, M. A. A.; GOES, R. J.; TAKASU, A. T.; RODRIGUES, R. A. F.; ARF, O.; ROSSETTO, J. É.; LEAL, C. T. Análise econômica da produção de sorgo na safrinha com diferentes fontes de nitrogênio em cobertura. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Viçosa, MG, v. 12, n. 2, p. 85–91, 2013. DOI: <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v12n2p85-91>. Acesso em: 25 maio 2025.

MARTIN, N. B.; OLIVEIRA, M. D. M.; ÂNGELO, J. A.; OKAWA, H.; SERRA, R. Sistema integrado de custos agropecuários – “CUSTAGRI”. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE INFORMÁTICA APLICADA À AGROPECUÁRIA E AGROINDÚSTRIA, 1., 1997, Belo Horizonte. **Anais [...]** Belo Horizonte: Agrosoft / CTSOFT / SBI-AGRO, 1997. p. 269–276. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/5041>. Acesso em: 25 maio 2025.

MATSUNAGA, M.; BEMELMANS, P. F.; TOLEDO, P. E. N.; DULLEY, R. D.; OKAWA, H.; PEDROSO, I. A. Metodologia de custo de produção utilizada pelo IEA. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 123–139, 1976. Disponível em: http://www.iea.sp.gov.br/ftpiea/rea/tomo1_76/artigo3.pdf. Acesso em: 30 maio 2025.

MEYER, M. C.; BUENO, A. de F.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. da (org.). **Bioinsumos na cultura da soja**. Brasília, DF: Embrapa, 2022. 550 p. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1143066>. Acesso em: 30 maio 2025.

PAUL, C. L. **Agronomía del sorgo**. [S. l.]: Instituto Internacional para la Investigación en Cultivos para los Trópicos Semiáridos (ICRISAT), Comision Latinoamericana de Investigadores de Sorgo, 1990. Acesso em: 20 maio 2025.

RODRIGUES, J. A. S. (ed.). **Cultivo do sorgo**. 9. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de Produção, 2). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/994083/1/Sistema-de-Producao-Cultivo-do-Sorgo.pdf>. Acesso em: 23 maio 2025.

APÊNDICE A – Imagens do experimento

Figura 4. Experimento no primeiro ano de condução, plantas com 20 dias após a emergência (DAE). Chapadão do Sul – MS. 2023.



Fonte: Próprio autor.

Figura 5. Experimento no primeiro ano de condução, plantas com 31 DAE. Chapadão do Sul – MS. 2023.



Fonte: Próprio autor.

Figura 6. Experimento no primeiro ano de condução, plantas com 55 DAE. Chapadão do Sul – MS. 2023.



Fonte: Próprio autor.

Figura 7. Experimento no Segundo ano de condução, plantas com 17 DAE. Chapadão do Sul – MS. 2024.



Fonte: Próprio autor.

Figura 8. Experimento no Segundo ano de condução, plantas com 119 DAE. Chapadão do Sul – MS. 2024.



Fonte: Próprio autor.