

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

LAÍS PEREIRA DA SILVA VENTURA

**ESTRATÉGIAS DE INOCULAÇÃO, COINOCULAÇÃO E INOCULAÇÃO
SUPLEMENTAR DA SOJA COM BACTÉRIAS PROMOTORAS DE
CRESCIMENTO**

ILHA SOLTEIRA - SP

2025

LAÍS PEREIRA DA SILVA VENTURA

**ESTRATÉGIAS DE INOCULAÇÃO, COINOCULAÇÃO E INOCULAÇÃO
SUPLEMENTAR DA SOJA COM BACTÉRIAS PROMOTORAS DE
CRESCIMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de
Engenharia de Ilha Solteira – UNESP
como parte dos requisitos para
obtenção do título de Engenheira
Agrônoma.

Nome do orientador
Prof. Dr. Marcelo Andreotti

ILHA SOLTEIRA - SP

2025

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvida pela Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação

V469e Ventura, Laís Pereira da Silva.
Estratégias de inoculação, coinoculação e inoculação suplementar da soja com bactérias promotoras de crescimento / Laís Pereira da Silva Ventura. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2025
36 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2025

Orientador: Marcelo Andreotti
Inclui bibliografia

1. *Glycine max*. 2. Fixação biológica de nitrogênio. 3. Coinoculação. 4. *Azospirillum*. 5. *Bradyrhizobium*.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE ENGENHARIA - CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

CURSO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA

ATA DA DEFESA – TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

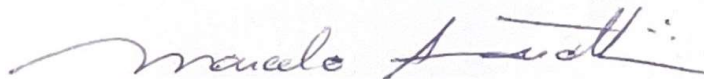
TÍTULO: Estratégias de inoculação, co-inoculação e inoculação suplementar da soja com bactérias promotoras de crescimento

ALUNO: *Laís Pereira da Silva Ventura* RA: 182053709

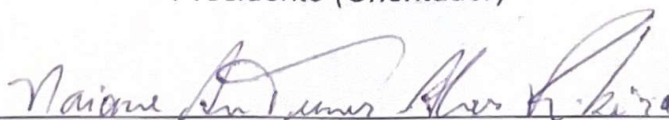
ORIENTADOR: Marcelo Andreotti

Aprovado (X) - Reprovado () pela Comissão Examinadora com Nota: 9,0

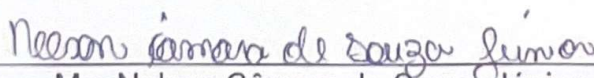
Comissão Examinadora:



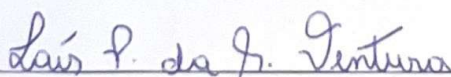
Prof. Dr. Marcelo Andreotti
Presidente (Orientador)



Dra. Naiane Antunes Alves Ribeiro



Me. Nelson Câmara de Souza Júnior



Laís Pereira da Silva Ventura

Ilha Solteira, 19 de novembro de 2025.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus e Nossa Senhora, por me conceder força, saúde e sabedoria para chegar até aqui, sempre iluminando meus caminhos e guiando meus passos durante essa trajetória.

Agradeço também aos meus pais, Mauro José Ventura e Cleonice Pereira da Silva e meus tios e padrinhos, João Ventura e Aparecida Guilhermino Ventura, por todo suporte durante minha graduação, pelos valores que me ensinaram, pelo carinho, pelo apoio em todos os momentos e principalmente por sempre acreditarem em mim.

Ao meu irmão Mauro José Ventura Filho e a minha cunhada Laura Cones, por serem presentes, me acolherem e tornam essa caminhada mais leve.

As minhas amigas Manuela Bernardi e Isabella Ramos, por estarem sempre ao meu lado, me incentivando, me acolhendo e sendo meu porto seguro nos dias bons e nos difíceis.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Marcelo Andreotti, pelos ensinamentos, paciência, disponibilidade e pela orientação durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

À Equipe Andreotti, pelo apoio fundamental na condução do experimento, pela troca de conhecimento e pela parceria em cada etapa, sem vocês não seria possível.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, especialmente à Faculdade de Engenharia do Câmpus de Ilha Solteira, e aos professores que tanto me ensinaram e contribuíram para o meu crescimento.

Por fim, agradeço a República Label e as moradoras pela convivência, amizade e companheirismo, que contribuíram para tornar essa etapa da minha vida mais leve e significativa.

À todos que, de alguma forma, fizeram parte dessa caminhada, o meu sincero muito obrigada.

RESUMO

A coinoculação da soja com bactérias promotoras de crescimento vegetal tem se mostrado uma prática promissora para aumentar a eficiência da fixação biológica de nitrogênio (FBN) e o rendimento da cultura. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da inoculação da área com *Azospirillum brasilense* nas culturas antecessoras, da coinoculação das sementes com *Bradyrhizobium japonicum* e *A. brasilense* e da inoculação suplementar (em R1) com *B. japonicum* nas entrelinhas da soja, sobre o crescimento, componentes da produção e produtividade de grãos e assim indicar qual dessas técnicas de aplicação é a mais eficaz em um solo sob SPD consolidado. O experimento foi conduzido na safra 2022/2023, na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da Faculdade de Engenharia – UNESP, Câmpus de Ilha Solteira, localizada em Selvíria-MS, em sistema de plantio direto sob pivô central. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 2×2×2 (com ou sem inoculação das culturas antecessoras com *A. brasilense*, com ou sem a coinoculação das sementes com *B. japonicum* e *A. brasilense* e com ou sem a inoculação do solo das entrelinhas da soja em R1 com *B. japonicum*), com quatro repetições. Foram avaliadas a altura de plantas, de inserção da primeira vagem, população de plantas, número de vagens chochas e de vagens por planta, número de grãos por vagem, número de grãos por planta, massa de 100 grãos e produtividade de grãos. A inoculação da área e a coinoculação das sementes influenciaram positivamente a população de plantas, o número de grãos por planta e a produtividade de grãos, enquanto a inoculação suplementar também promoveu incremento na produtividade. De modo geral, verificou-se efeito compensatório entre densidade de plantas e produção individual, mantendo estável a produtividade. O uso combinado de *B. japonicum* e *A. brasilense* representa uma alternativa eficiente e sustentável para o aumento da produtividade da soja, e a inoculação suplementar, pode ser uma técnica viável para suprir a demanda de nitrogênio nos estádios avançados de desenvolvimento da cultura. Para esse estudo, nenhuma das técnicas estudadas se destacou, porém é notável que a produção de soja é altamente influenciada pelo uso de bactérias promotoras de crescimento e mesmo em um solo com plantio direto consolidado, novos métodos de inserção desses microrganismos podem representar ganhos, mostrando a necessidade de refinamento da produção agrícola.

Palavras-chave: *Glycine max*, fixação biológica de nitrogênio, coinoculação, *Azospirillum*, *Bradyrhizobium*.

ABSTRACT

The co-inoculation of soybean with plant growth-promoting bacteria has proven to be a promising practice to increase the efficiency of biological nitrogen fixation (BNF) and crop yield. The objective of this study was to evaluate the effect of area inoculation with *Azospirillum brasilense* in preceding crops, seed co-inoculation with *Bradyrhizobium japonicum* and *A. brasilense*, and supplemental inoculation with *B. japonicum* in the soybean inter-rows on plant growth, yield components, and grain productivity, in order to determine which of these application techniques is the most effective in a consolidated no-tillage system. The experiment was carried out during the 2022/2023 growing season at the Teaching, Research and Extension Farm of the School of Engineering – UNESP, Ilha Solteira Campus, located in Selvíria, MS, Brazil, under a central pivot irrigation system in no-tillage. The experimental design was a randomized block design in a 2×2×2 factorial scheme (with or without inoculation of preceding crops with *A. brasilense*, with or without seed coinoculation with *B. japonicum* and *A. brasilense*, and with or without soil inoculation in the soybean inter-rows at R1 with *B. japonicum*), with four replications. Plant height, first pod insertion height, plant population, number of empty pods and pods per plant, number of grains per pod, number of grains per plant, 100-grain weight, and grain yield were evaluated. Area inoculation and seed co-inoculation positively influenced plant population, number of grains per plant, and grain yield, while supplemental inoculation also promoted an increase in productivity. Overall, a compensatory effect was observed between plant density and individual production, maintaining stable yield. The combined use of *B. japonicum* and *A. brasilense* represents an efficient and sustainable strategy to increase soybean productivity, and supplemental inoculation may be a viable technique to meet nitrogen demand in advanced stages of crop development. In this study, none of the evaluated techniques stood out; however, it is evident that soybean production is highly influenced by the use of plant growth-promoting bacteria, and even in no-tillage soil, new methods for introducing these microorganisms may provide gains, highlighting the need for refinement in agricultural production.

Keywords: *Glycine max*, biological nitrogen fixation, co-inoculation, *Azospirillum*, *Bradyrhizobium*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Médias de temperatura mínima, média e máxima e precipitação pluvial durante o ciclo da cultura da soja (safra 2022/2023), em Selvíria – MS.....	21
---	----

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Análise de solo da área nas profundidades 0 – 0,10; 0,10 – 0,20 e 0,20 – 0,40 m. Selvíria-MS, **2021/2022**.....22
- Tabela 2.** Disposição dos tratamentos na soja com inoculação de *Azospirillum brasilense* na cultura antecessora, coinoculado via semente e com inoculação adicional em R1 sob esquema fatorial 2x2x2. Selvíria/MS, **2022/23**.....22
- Tabela 3.** Médias para altura de plantas (ALTP), altura de inserção da primeira vagem (AIPV), população de plantas (POP) e número de vagens chochas (CHOCHAS) da soja em função da inoculação ou não das gramíneas antecessoras com *Azospirillum brasilense* da coinoculação ou não das sementes com *Bradyrhizobium* e *A. brasilense* e da inoculação suplementar com *Bradyrhizobium* nas entrelinhas de plantas em R1. Selvíria, MS, **2022/23**. 26
- Tabela 4.** Médias para número de vagens por planta (NVP), de grãos por vagem (NGV) e de grãos por planta (NGP), massa de 100 grãos (M100) e produtividade de grãos (PG) da soja em função da inoculação ou não das gramíneas antecessoras com *Azospirillum brasilense*, da coinoculação ou não das sementes com *Bradyrhizobium* e *A. brasilense* e da inoculação suplementar com *Bradyrhizobium* nas entrelinhas de plantas em R1. Selvíria, MS, **2022/23**.28

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALTP	Altura de plantas
AIPV	Altura de Inserção da Primeira Vagem
POP	População de plantas
CHOCHAS	Vagens chochas
NVP	Número de Vagens por Planta
NGV	Número de Grãos por Vagem
NGP	Número de Grãos por Planta
M100	Massa de 100 grãos
PG	Produtividade de grãos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	A CULTURA DA SOJA.....	15
2.2	FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO (FBN).....	16
2.3	SISTEMA PLANTIO DIRETO.....	17
2.4	INOCULAÇÃO E COINOCULAÇÃO NA SOJA.....	18
2.5	BENEFÍCIOS DO <i>Azospirillum</i> PARA A PLANTA.....	18
2.6	INOCULAÇÃO ADICIONAL COM <i>Bradyrhizobium</i>	19
3	MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1	LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DA ÁREA.....	21
3.2	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS	22
3.3	SEMEADURA, CONDUÇÃO E AVALIAÇÕES DA SOJA.....	23
3.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA	24
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
5	CONCLUSÃO	31
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma das principais culturas agrícolas do mundo, destacando-se pelo elevado valor econômico e nutricional. Além de seu uso na alimentação humana e animal, a oleaginosa constitui importante matéria-prima para a produção de biocombustíveis, ocupando posição de destaque nas exportações brasileiras, segundo a Embrapa (s.d.) e a FPA (2021). O Brasil, que se destaca entre os maiores produtores mundiais, tem alcançado elevados índices de produtividade devido ao uso de tecnologias sustentáveis e ao avanço das pesquisas em manejo biológico e nutricional da cultura (Telles *et al.*, 2023).

A fixação biológica de nitrogénio (FBN) é um dos principais processos que sustentam a produção de soja em larga escala no país, dispensando o uso de adubação nitrogenada mineral (Crusciol *et al.*, 2024). Esse processo ocorre por meio da simbiose entre a planta e bactérias do género *Bradyrhizobium*, que formam nódulos nas raízes e convertem o nitrogénio atmosférico (N₂) em formas assimiláveis pela planta (Crusciol *et al.*, 2024). O uso de *Bradyrhizobium* na soja é uma técnica sustentável que aumenta a qualidade do solo, promovendo uma melhor atividade microbiana, além de aumento da fertilidade natural do solo ao longo do ciclo, possibilitando uma menor dependência do uso de fertilizantes nitrogenados e diminuindo consideravelmente os custos de produção (Hungria; Nogueira, 2019; Hungria e Nogueira, 2020). Essa tecnologia brasileira, faz a soja do país ser altamente competitiva e rentável, sendo um dos principais motivos da alta produtividade de grãos para cultura na safra 2024/25, que chegou a 168,3 milhões de toneladas (CONAB, 2025).

A maioria das áreas de soja no Brasil, desenvolve a produção de grãos sob sistema plantio direto (SPD), que apresenta vantagens como a melhoria da atividade microbiológica dos solos, maior teor de matéria orgânica, capacidade de armazenamento de água, maior disponibilidade de nutrientes mesmo em camadas mais profundas e menor trânsito de máquinas, minimizando a compactação (Hernani *et al.*, 2021). Por essas inúmeras vantagens pelo uso do SPD, pesquisadores veem como necessário a adoção de novas técnicas de cultivo que auxiliem no refinamento da produção agrícola, justamente para auxiliar na produção, visto que mesmo solos sob SPD consolidado não garantem alta produção de grãos devido à sazonalidade dos cultivos agrícolas.

Pensando nisso, outra prática que vem sendo usual na agricultura brasileira é a inoculação suplementar. Está vem sendo estudada como alternativa para garantir o suprimento contínuo de microrganismos durante o ciclo da cultura, especialmente nas fases de maior demanda de nitrogênio (N) (Sousa *et al.*, 2021; Teixeira *et al.*, 2022). Pesquisas mostram que a partir de R3-R5, os nódulos formados na inoculação de semeadura podem entrar em senescência ou perder sua eficiência de FBN (Sartori *et al.*, 2021). Nesse caso, as novas cepas inoculadas irão promover novos nódulos capazes de auxiliar na FBN, suprimindo a alta demanda no enchimento de grãos, principalmente nas fases R5-R6, onde a planta sintetiza seus compostos para essa finalidade (Zapata *et al.*, 1987; Gaspar *et al.*, 2017). Ressalta-se que mesmo em áreas com SPD consolidado, essa prática tem sido usual e eficiente, justamente por aumentar a comunidade microbiana no solo, sendo disponibilizada no momento de maior necessidade da cultura e minimizando os efeitos da competição intraespecífica entre as espécies (Krok *et al.*, 2023).

Outra técnica bastante usual na agricultura brasileira, é o uso de *Azospirillum brasilense* em associação com o *Bradyrhizobium*, prática conhecida como coinoculação. A principal função da *A. brasilense* é auxiliar produção de fitormônios de crescimento, capazes de auxiliar no desenvolvimento vegetal, principalmente no aumento em volume e alongamento de raízes, aumentando o volume radicular, a superfície de exploração do solo, contribuindo para nutrição vegetal da planta, diminuição do déficit hídrico, maior eficiência da FBN e do uso de fertilizantes químicos (Chibeba *et al.*, 2015; Rondina *et al.*, 2020; Barbosa *et al.*, 2021). Destaca-se que plantas coinoculadas, apresentam maior nodulação, podendo a eficiência ser aumentada ao longo do ciclo e proporcionando incrementos produtivos de 16% até 21% em grãos de soja (Prando *et al.*, 2022; Barbosa *et al.*, 2021; Bocatti *et al.* 2022).

A associação entre a coinoculação e a inoculação suplementar tem se mostrado uma estratégia eficiente para melhorar o desempenho fisiológico da soja, sobretudo em áreas de alta produtividade e sob condições de cultivo irrigado. Dentre essas técnicas, há uma que melhor pode se destacar em áreas sob SPD consolidado, onde a fertilidade do solo é equilibrada e as técnicas de produção agrícola devem ser refinadas. Nesse contexto, o presente trabalho se predispôs a avaliar o efeito da inoculação, coinoculação e inoculação

suplementar em R1 da soja sobre os componentes de produção e a produtividade de grãos em solo sob SPD consolidado, em área sob pivô central, nas condições de Cerrado de baixa altitude, indicando qual ou quais dessas técnicas podem ser mais eficazes nessas condições de cultivo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura da soja

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma leguminosa de elevado valor proteico e oleaginoso, representando importante alternativa no enfrentamento da fome mundial, tanto pela ampla utilização de seus subprodutos na alimentação humana quanto pelo papel essencial na formulação de rações animais (Canoff, 2021). No cenário global, a cultura é uma das mais relevantes do agronegócio, e o Brasil ocupa posição de destaque como principal produtor e exportador. Na safra 2024/2025, a produção nacional de soja foi estimada em 168,3 milhões de toneladas, cultivadas em uma área de 47,3 milhões de hectares, com produtividade média de 3.563 kg ha⁻¹, (Conab 2025). O Brasil mantém sua liderança mundial devido à expansão da fronteira agrícola e ao uso de tecnologias sustentáveis, consolidando a oleaginosa como um dos pilares da economia e da segurança alimentar brasileira. Esses resultados reforçam a importância estratégica da cultura no contexto econômico global e no desenvolvimento do agronegócio nacional (Embrapa Soja 2024).

A soja também se destaca como uma das culturas mais adaptadas aos sistemas de plantio direto e rotação lavoura-pastagem, desempenhando papel estratégico não apenas pelos aspectos econômicos, mas também pela sua contribuição à melhoria da qualidade do solo e ao sistema de rotação integrado (Silva *et al.*, 2023). No Brasil, a cultura se destaca pelo alto retorno econômico e pela versatilidade de uso do grão, que pode ser destinado à produção de óleo vegetal, ração animal e biocombustíveis. Nos últimos anos, a oferta de produtos derivados de soja de maior qualidade tem crescido expressivamente, consolidando seu uso em dietas com restrição de lactose, vegetarianas e veganas, além de representar uma alternativa acessível para substituição da proteína animal. A soja apresenta, em média, 40% de proteína e 20% de óleo em base seca, com elevado teor de aminoácidos essenciais (FPA, 2021).

2.2 Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN)

Os microrganismos do solo desempenham funções fundamentais nos agroecossistemas, e a fixação biológica de nitrogênio (FBN) se destaca como um dos serviços essenciais. Bactérias simbióticas capazes de sintetizar a enzima nitrogenase fixam o N_2 atmosférico e o transformam em formas assimiláveis, como amônio, contribuindo de modo substancial para a disponibilidade de N em culturas leguminosas como a soja. Estudos recentes reforçam a importância da inoculação para explorar esse potencial em diferentes condições edafoclimáticas. (Maluk *et al.*, 2023).

No contexto brasileiro, a cultura da soja tem se beneficiado de maneira ampla da aplicação prática da FBN, o que tem permitido manter elevadas produtividades zerando a dependência de fertilizantes nitrogenados minerais. Esse avanço está associado a décadas de adaptação de genótipos, desenvolvimento de inoculantes eficientes e estratégias de manejo ajustadas ao ambiente tropical (Telles; Nogueira; Hungria, 2023).

A coinoculação de *Bradyrhizobium* com *Azospirillum brasilense* mostrou-se eficaz em aumentar parâmetros agronômicos (nódulos, biomassa radicular, teor de N e rendimento), conforme meta-análises e estudos de campo realizados no Brasil (Barbosa *et al.*, 2021). Esses trabalhos também apontam para padrões de maior resposta da coinoculação em solos arenosos, sob plantio direto e em cultivares com determinados hábitos de crescimento, o que explica a rápida adoção prática dessa tecnologia em áreas comerciais (Barbosa *et al.*, 2021).

A mensuração dos valores econômicos e ambientais associados ao processo de FBN, bem como aos benefícios da inoculação e coinoculação, é fundamental para orientar produtores, pesquisadores, indústria e políticas públicas. Apesar do Brasil liderar mundialmente a produção de soja e a utilização de tecnologia de FBN, ainda são relativamente poucos os estudos que quantificam esses serviços ecossistêmicos em escala nacional (Telles; Nogueira; Hungria, 2023).

2.3 Sistema plantio direto

O sistema de plantio direto (SPD), no qual o solo é revolvido apenas na linha de semeadura, é considerado uma estratégia de agricultura conservacionista e sustentável, amplamente adotada em diversas regiões do mundo, especialmente no Brasil. Também denominado sistema de semeadura direta, essa técnica representa uma evolução significativa na forma de conduzir a agricultura, substituindo o uso de implementos que revolviam o solo em toda a sua extensão, prática hoje reconhecida como menos sustentável (Passos *et al.*, 2018)

O desenvolvimento do SPD no Brasil está historicamente relacionado ao aumento das perdas de solo ocorridas nas décadas de 1960 e 1970, especialmente no estado do Paraná, devido ao rápido avanço do processo erosivo. Um dos principais objetivos do SPD é proteger o solo contra os efeitos danosos das chuvas, mantendo uma cobertura vegetal morta sobre a superfície, a palhada (Volk *et al.*, 2004). A ausência de cobertura, viva ou morta, aumenta a susceptibilidade do solo à erosão, fenômeno que se manifesta pela degradação (desagregação do solo) causado pela energia cinética das gotas de chuva e pelo arraste de partículas pela água da chuva ou da irrigação (Passos *et al.*, 2018).

Inicialmente desenvolvido em países de clima temperado, como a Inglaterra, o SPD expandiu-se para o Brasil, começando no Sul do país e atualmente presente em todas as regiões, do norte ao sul e de leste a oeste (Landers, 2001). Segundo dados da FEBRAPDP (Federação Brasileira de Plantio Direto e Irrigação, 2013), estima-se que cerca de 32 milhões de hectares de áreas agricultáveis no Brasil já utilizavam o SPD. No entanto, grande parte dessas áreas não atende integralmente aos preceitos do sistema conservacionista (Derpsch *et al.*, 2014), que define os seguintes princípios mínimos: baixo revolvimento do solo, geralmente restrito à linha de semeadura; presença de cobertura vegetal morta sobre o solo, conhecida como palhada; e uso de rotação de culturas.

2.4 Inoculação e coinoculação na soja

A inoculação é essencial em áreas de primeiro cultivo de soja ou em solos onde essa leguminosa não é cultivada há bastante tempo, uma vez que as bactérias fixadoras de nitrogênio (N_2) encontram-se ausentes ou em populações muito reduzidas. Alguns estudos indicam que, em áreas tradicionais de cultivo, a inoculação anual da soja com *Bradyrhizobium* spp. promove, em média, um acréscimo de cerca de 8% na produtividade, o que representa um excelente retorno, considerando-se o baixo custo do inoculante (Prando *et al.*, 2020).

A coinoculação, por sua vez, consiste na aplicação conjunta de dois ou mais microrganismos que atuam em diferentes processos biológicos, potencializando o crescimento vegetal (Barbosa, 2021). Diversas bactérias promotoras do crescimento de plantas têm sido avaliadas para uso em conjunto com *Bradyrhizobium* spp., como *Azospirillum brasilense*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus subtilis* e *Pseudomonas fluorescens*. Dentre essas, a associação entre *Bradyrhizobium* spp. e *A. brasilense* tem se destacado por promover incrementos significativos na produtividade da soja, especialmente após a liberação comercial, em 2013, das cepas *Ab-V5* e *Ab-V6* (Barbosa, 2021).

Embora a capacidade de FBN do *A. brasilense* seja limitada quando comparada à do *Bradyrhizobium*, sua principal contribuição está na síntese de fitormônios que estimulam o crescimento radicular e favorecem a nodulação. Essa ação sinérgica resulta em maior eficiência da FBN, maior exploração do solo pelas raízes e produtividade média cerca de 16% superior à obtida com a inoculação exclusiva de *Bradyrhizobium* (Prando *et al.*, 2020). Além disso, a *A. brasilense* contribui para a indução de resistência sistêmica das plantas frente a estresses bióticos e abióticos, efeito associado a mecanismos de comunicação microbiana (*quorum sensing*), conforme relatado em estudos *in vitro* e *in vivo* (Barbosa, 2021).

2.5 Benefícios do *Azospirillum* para a planta

O gênero *Azospirillum* abrange um grupo de bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP) de vida livre e encontra-se em quase todos os

lugares da Terra. As BPCP podem ser definidas como qualquer bactéria que possuem efeitos benéficos no crescimento de espécies vegetais, em razão à capacidade de colonizar a superfície das raízes, rizosfera, filosfera e tecidos internos das plantas (Hungria, 2011).

Além da fixação biológica de nitrogênio, espécies de *Azospirillum* são reconhecidas pela produção de fitormônios, principalmente auxinas, citocininas e giberelinas, os quais promovem o desenvolvimento radicular e o crescimento das plantas (Fukami; Cerezini; Hungria, 2018). Esses compostos promovem o alongamento celular e a formação de raízes laterais, resultando em maior desenvolvimento do sistema radicular e melhor aproveitamento de água e nutrientes pelas plantas (Pelagio-Flores *et al.*, 2025).

A inoculação com *A. brasilense* tem sido demonstrada como eficaz para estimular o desenvolvimento radicular, melhorar a absorção de água e nutrientes e aumentar a tolerância das plantas a estresses abióticos como déficit hídrico e salinidade (Marques *et al.*, 2021). Por exemplo, em condições de seca, plantas de milho inoculadas com *A. brasilense* apresentaram maior desenvolvimento radicular e maior eficiência no uso de água. Essas respostas estão associadas à produção de fitormônios e à colonização radicular eficiente, que estimulam o crescimento de raízes finas e aumentam a capacidade de exploração do solo. Pesquisas recentes demonstram que a presença de *A. brasilense* contribui para o vigor das plantas e melhora sua adaptação a condições ambientais adversas, resultando em maior estabilidade produtiva (Matos, 2024).

2.6 Inoculação adicional com *Bradyrhizobium*

A inoculação adicional consiste na aplicação de inoculante diretamente no solo após o estabelecimento da cultura, sucedendo a inoculação inicial realizada nas sementes. Essa prática, também chamada de inoculação em cobertura, tem como objetivo estimular a formação de novos nódulos radiculares e aumentar a disponibilidade de nitrogênio (N) ao longo do ciclo da planta (Sousa *et al.*, 2021; Teixeira *et al.*, 2022). Outro ponto relevante é que a técnica pode mitigar fatores que prejudicam a sobrevivência das bactérias aplicadas nas sementes, como temperaturas elevadas, baixa umidade do solo no momento da semeadura,

contato com fungicidas ou inseticidas incompatíveis e períodos de estresse inicial (Hungria et al., 2013).

O termo inoculação adicional é empregado quando uma área que já possui uma população bacteriana estabelecida, devido a cultivos anteriores, recebe uma nova aplicação de inoculante (Hungria *et al.*, 2008). Nessa prática, o inoculante é aplicado diretamente no sulco de semeadura, no solo, estimulando a formação de novos nódulos e aumentando a disponibilidade de N ao longo do ciclo da planta. Em solos com população bacteriana previamente estabelecida, a reinoculação com estirpes selecionadas por pesquisas brasileiras resultou em um incremento médio de 4,7% na produtividade (Hungria *et al.*, 2008).

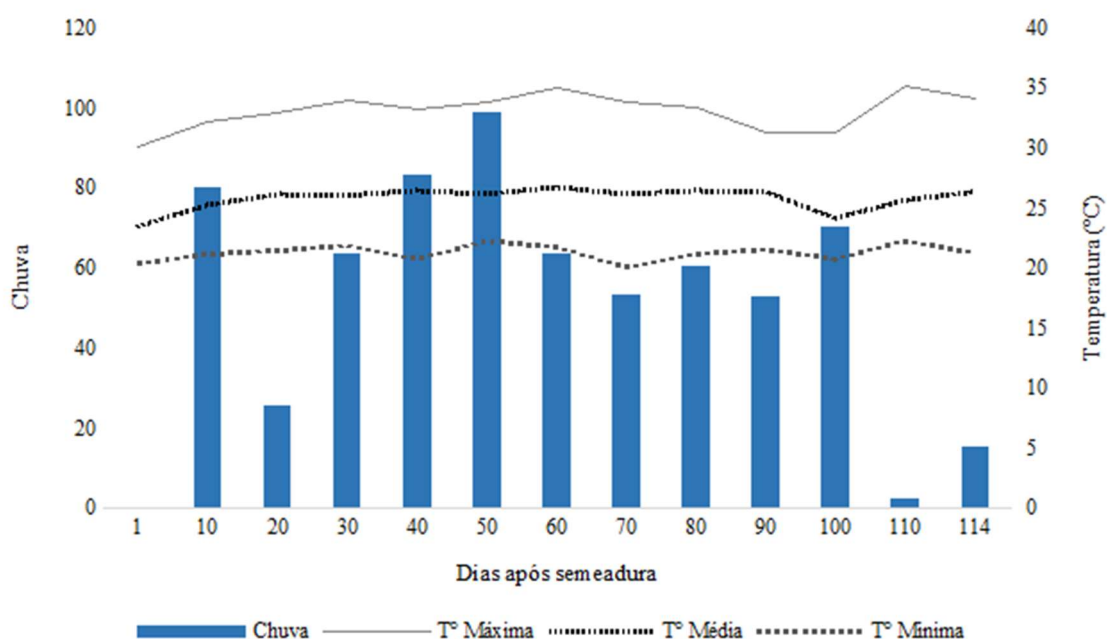
Resultados mais recentes sugerem que a inoculação suplementar pode ser ainda mais relevante em sistemas produtivos intensivos, em solos compactados, ou em sistemas de plantio direto consolidados, onde o microambiente da raiz pode dificultar a infecção inicial e reduzir a colonização das estirpes aplicadas na semente (Hungria et al., 2020; Teixeira et al., 2022). Nessas condições, a aplicação no solo pode favorecer a colonização tardia e melhorar a eficiência da FBN.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e características da área

O experimento foi realizado na área experimental da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da Faculdade de Engenharia – UNESP, Câmpus de Ilha Solteira, localizada no município de Selvíria, Mato Grosso do Sul (latitude 20°22' S, longitude 51°22' W e altitude de 335 m). A área experimental é equipada com sistema de irrigação por aspersão (pivô central), sob o qual a cultura foi implantada na safra de 2022/2023. As condições climáticas durante o período de condução do experimento constam na Figura 1.

Figura 1 – Médias de temperatura mínima, média e máxima e precipitação pluvial durante o ciclo da cultura da soja (safra 2022/2023), em Selvíria – MS.



Fonte: ClimaFeis, 2025.

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, o solo onde foi conduzido o experimento é classificado como LATOSSOLO VERMELHO distrófico, típico argiloso (Santos *et al.*, 2018), cuja análise da fertilidade (Raij *et al.*, 2001) é apresentada na Tabela 1. Em função da análise de solo foi necessária a aplicação de calcário dolomítico (PRNT = 89%) para

e elevar a saturação por bases à 70%, segundo Quaggio *et al.* (2022), aplicado à lâmina, sem incorporação ao solo, em setembro de 2022.

Tabela 1. Análise de solo da área nas profundidades 0 – 0,10; 0,10 – 0,20 e 0,20 – 0,40 m. Selvíria-MS, 2021/2022.

Profundidades (m)	Área					
	P - resina	MO	pH	V	m	Zn
	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	%	%	mg dm ⁻³
0 – 0,10	34	20	4,6	33	17	0,6
0,10 – 0,20	16	18	4,7	32	16	0,3
0,20 – 0,40	8	15	4,7	31	17	0,2

Fonte: Boldrini, 2024.

3.2 Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi instalado em delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 2×2×2, com quatro repetições:

Tabela 2. Disposição dos tratamentos na soja com inoculação de *Azospirillum* brasilense na cultura antecessora, coinoculado via semente e com inoculação adicional em R1 sob esquema fatorial 2x2x2. Selvíria/MS, 2022/23.

Tratamento	Inoculação da cultura antecessora (<i>Azospirillum</i>)	Coinoculação nas sementes	Inoculação adicional em R1
T1	Sem inoculação	Apenas <i>Bradyrhizobium japonicum</i>	Sem inoculação
T2	Sem inoculação	Apenas <i>Bradyrhizobium japonicum</i>	Com inoculação
T3	Sem inoculação	Coinoculação (<i>Bradyrhizobium</i> + <i>Azospirillum</i>)	Sem inoculação
T4	Sem inoculação	Coinoculação (<i>Bradyrhizobium</i> + <i>Azospirillum</i>)	Com inoculação
T5	Com inoculação	Apenas <i>Bradyrhizobium japonicum</i>	Sem inoculação
T6	Com inoculação	Apenas <i>Bradyrhizobium japonicum</i>	Com inoculação
T7	Com inoculação	Coinoculação (<i>Bradyrhizobium</i> + <i>Azospirillum</i>)	Sem inoculação

T8	Com inoculação	Coinoculação (<i>Bradyrhizobium</i> + <i>Azospirillum</i>)	Com inoculação
----	----------------	--	----------------

Fonte: Própria autora, 2025

As sementes de soja utilizadas foram tratadas conforme o padrão comercial, com aplicação de fungicidas e inseticidas previamente à semeadura. A inoculação via sementes foi realizada na própria fazenda (*on-farm*), sob sombreamento e imediatamente antes da semeadura, de modo a evitar a exposição à radiação solar e preservar a viabilidade dos microrganismos. A inoculação adicional, por sua vez, foi efetuada por meio de pulverizador costal, utilizando *Bradyrhizobium* aplicado no solo das entrelinhas da soja no estágio fenológico R1.

Os inoculantes líquidos empregados foram constituídos pelas estirpes *Azospirillum brasilense* Ab-V5 e Ab-V6 (3×10^8 UFC mL⁻¹), fornecidas pela empresa BIOMAX Azum, e *Bradyrhizobium japonicum* SEMIA 587 e SEMIA 5019 (7×10^9 UFC mL⁻¹), da BIOMAX Premium. A dose utilizada de *B. japonicum* foi de 200 mL para cada 20 kg de sementes e 400 mL diluídos em 100 L de água ha⁻¹ para a calda de pulverização costal utilizada na reinoculação. Para a *Azospirillum*, a dose foi de 150 mL para cada 20 kg de sementes.

3.3 Semeadura, condução e avaliações da soja

A semeadura foi realizada em 13/12/2022, utilizando uma semeadora-adubadora de haste (Tatu Marchesan PST Plus 4045) em sistema plantio direto consolidado (12 anos), cuja cultura anterior foi a aveia preta. A cultivar empregada foi a BRS Maracai, de crescimento indeterminado, grupo de maturidade 7.2, tecnologia Intacta RR2 PRO, com tratamento inseticida Dermacor® e fungicida Rancona®. O espaçamento entre linhas foi de 0,50 m, com densidade de 13,66 sementes por metro linear. A inoculação das sementes foi realizada à sombra, conforme as recomendações dos fabricantes, com aplicação dos inoculantes bacterianos momentos antes da semeadura. A adubação de base consistiu na aplicação de 300 kg ha⁻¹ do formulado 08-28-16 (N, P2O5, K2O), conforme as recomendações de Quaggio *et al.* (2022).

A inoculação suplementar foi realizada em 25/01/2023, correspondente ao estágio R1 da soja, por meio de pulverização costal com inoculante líquido de *Bradyrhizobium* nas entrelinhas da soja. Foram utilizados inoculantes das mesmas estirpes de *Azospirillum brasilense* (Ab-V5 e Ab-V6) e *Bradyrhizobium japonicum* (SEMIA 587 e SEMIA 5019), nas dosagens de 200 mL/20 kg de sementes e 400 mL/200 L de água ha⁻¹, respectivamente.

Os tratos fitossanitários foram realizados conforme a necessidade da cultura ao longo do ciclo.

A colheita foi realizada no dia 06/04/2023, correspondente ao estágio R8, totalizando um ciclo de 114 dias. Foram feitos dois feixes de coleta de plantas de soja, sendo um deles da coleta de 10 plantas sequenciais em linha, para a avaliação de altura da planta, da altura de inserção da primeira vagem, número de vagens chochas por planta (CHOCHAS), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), número de grãos por planta (NGP); e outro feixe com todas as plantas de soja nas 3 linhas centrais com 6 metros de comprimento (desprezando as linhas laterais como bordadura), para as avaliações: da população de plantas (POP), massa de 100 grãos (M100) e produtividade de grãos (PG).

3.4 Análise estatística

Para análise estatística, a normalidade dos dados foi avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk. Após análise, os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as médias comparadas pelo teste de t (Student) a 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software SISVAR® (FERREIRA, 2011).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A altura de plantas (ALTP) não foi influenciada significativamente pelos tratamentos, apresentando médias variando de 65 a 68 cm (Tabela 3). A ausência de diferença estatística indica que os microrganismos inoculados não exerceram efeito expressivo sobre o crescimento vegetativo em altura, possivelmente, em razão das condições favoráveis de solo e umidade durante o ciclo (irrigação), que reduziram a resposta da planta à inoculação. Resultados semelhantes foram relatados por Hungria *et al.* (2013), que também observaram ausência de efeito da coinoculação sobre a altura de plantas em solos com boa fertilidade.

Para a altura de inserção da primeira vagem (AIPV), não foi observado diferenças significativas entre os fatores analisados (Tabela 3). Os valores médios oscilaram entre 7,5 e 9,5 cm, considerados adequados para a colheita mecanizada. Essa característica está fortemente associada à genética da cultivar, sendo pouco influenciada por práticas de manejo. De acordo Nogueira e Hungria (2019), a inoculação e a coinoculação tendem a promover maiores respostas fisiológicas e de nodulação do que modificações morfológicas, como a altura de inserção da primeira vagem.

Em relação à população de plantas (POP), houve efeito significativo da inoculação das culturas antecessoras na área e da coinoculação das sementes ($p < 0,01$), enquanto que a inoculação suplementar não apresentou influência. A inoculação da área com *Azospirillum brasilense* resultou em maior população (218.441 plantas ha^{-1}) quando comparada à ausência de inoculação (210.509 plantas ha^{-1}). Da mesma forma, a coinoculação com *Bradyrhizobium* e *A. brasilense* promoveu incremento na população (227.083 plantas ha^{-1}) em relação à inoculação apenas com *Bradyrhizobium* (204.614 plantas ha^{-1}). Esse resultado pode ser atribuído à ação promotora de crescimento do *A. brasilense*, que estimula o desenvolvimento radicular e favorece o estabelecimento inicial das plântulas, aumentando a sobrevivência e a uniformidade da lavoura. Segundo Cassán e Diaz-Zorita (2016) e Hungria *et al.* (2020), o gênero *Azospirillum* sintetiza fitormônios como auxinas e giberelinas, os quais estimulam o crescimento radicular e melhoram a absorção de nutrientes, refletindo em maior vigor e emergência das plantas. Pode-se notar, que o uso de *A. brasilense*

nas culturas da rotação também é uma prática efetiva, que garante manutenção de uma flora microbiana estável e adequada no solo. Fica evidente pelos resultados, que o uso desta BPCP nas culturas de rotação mantém seus efeitos para cultura principal em SPD consolidado, o que pode significar menores custos de produção em campo (de Souza et al., 2025; Galindo et al., 2022).

Tabela 3. Médias para altura de plantas (ALTP), altura de inserção da primeira vagem (AIPV), população de plantas (POP) e vagens chochas (CHOCHAS) da soja em função da inoculação ou não das gramíneas antecessoras com *Azospirillum brasilense* da coinoculação ou não das sementes com *Bradyrhizobium* e *A. brasilense* e da inoculação suplementar com *Bradyrhizobium* nas entrelinhas de plantas em R1. Selvíria, MS, 2022/23.

Tratamentos	ALTP	AIPV	POP	CHOCHAS
	cm	cm	Plantas ha ⁻¹	
Inoculação área (A)				
SEM	65	7,5	210.509 b	5,6
COM	68	8,5	218.441 a	3,8
Coinoculação (C)				
SEM	67	9,0	204.614 b	3,8
COM	65	9,5	227.083 a	5,4
Inoculação suplementar (S)				
SEM	68	8,5	218.441	3,8
COM	65	9,5	225.083	5,4
CV%	10,6	22,4	6,8	27,7
Valor de F				
A	0,084	1,131	8,553**	0,061
C	0,084	1,131	8,553**	0,061
S	0,218	1,210	0,070	0,063
A x C	0,084	1,131	0,553	0,061
A x S	0,943	0,756	1,756	1,009
C x S	0,943	0,756	1,756	1,009
A x C x S	0,084	1,131	0,553	0,061

* e ** significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F. Letras distintas na coluna diferem pelo teste t (Student) a 5% de probabilidade.

Fonte: Própria autora, 2025.

Entretanto, verificou-se um efeito compensatório entre a densidade de plantas e o número de vagens por planta (Tabelas 3 e 4). Nos tratamentos com maior população, houve tendência de redução na produção individual de estruturas reprodutivas, o que sugere competição intraespecífica por recursos como luz, água e nutrientes. Esse comportamento é característico da soja e reflete sua capacidade de ajustar o número de vagens por planta de acordo com as condições de crescimento, mantendo estável a produção por área (Ferreira *et al.*, 2021).

O número de vagens chochas (CHOCHAS) também não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 3), com médias variando de 3,8 a 5,6 vagens chochas por planta. Essa variável é fortemente influenciada por fatores fisiológicos, como disponibilidade hídrica e eficiência fotossintética, e menos sensível à inoculação. O equilíbrio entre o número de vagens e a população de plantas reforça o efeito compensatório da cultura, evidenciando que, mesmo sob variações no estande, o potencial produtivo foi mantido. Resultados semelhantes foram relatados por Nogueira e Hungria (2019), que observaram que, em condições adequadas de manejo e nutrição, a soja tende a estabilizar sua produção total independentemente da densidade populacional.

Para o número de vagens por planta (NVP), verificou-se efeito significativo para a inoculação da área, a coinoculação das sementes e a inoculação suplementar (Tabela 4). A inoculação da área com *Azospirillum brasilense* promoveu aumento no número de vagens, com média de 66 vagens planta⁻¹, em comparação à ausência da inoculação (57 vagens planta⁻¹). De modo semelhante, a inoculação suplementar também resultou em incremento dessa variável, com 80 vagens planta⁻¹ contra 65 no tratamento sem aplicação. Esses resultados indicam que o *A. brasilense*, aplicado nas culturas antecessoras na área e a inoculação adicional de *Bradyrhizobium* no estágio reprodutivo da soja, foram estratégias interessantes para o desenvolvimento reprodutivo da cultura.

Entretanto, para a coinoculação das sementes, observou-se comportamento distinto: as plantas que não receberam *A. brasilense* apresentaram maior média de NVP (80 vagens) em relação às áreas que receberam a coinoculação (63 vagens). Apesar dessa redução, o resultado não influenciou a produtividade total de grãos (Tabela 4), sugerindo um possível efeito compensatório da soja, comum em condições onde o componente

reprodutivo apresenta ajustes fisiológicos ao ambiente. Inúmeros fatores podem estar associados a esse comportamento, incluindo competição intraespecífica entre microrganismos, condições ambientais, equilíbrio hormonal e composição da microbiota do solo, que podem modular a expressão dos benefícios da coinoculação. O aumento de vagens pode estar relacionado à produção de fitormônios, como auxinas e citocininas, que estimulam a diferenciação floral, o pegamento das vagens e a formação de novos nódulos ativos para FBN (Hungria et al., 2020; Cassán e Diaz-Zorita, 2016).

Tabela 4. Médias para número de vagens por planta (NVP), de grãos por vagem (NGV) e de grãos por planta (NGP), massa de 100 grãos (M100) e produtividade de grãos (PG) da soja em função da inoculação ou não das gramíneas antecessoras com *Azospirillum brasilense*, da coinoculação ou não das sementes com *Bradyrhizobium* e *A. brasilense* e da inoculação suplementar com *Bradyrhizobium* nas entrelinhas de plantas em R1. Selvíria, MS, 2022/23.

Tratamentos	NVP	NGV	NGP	M100	PG
				g	kg ha ⁻¹
Inoculação área (A)					
SEM	57 b	2,1	116 b	16,5	3781 b
COM	66 a	2,1	140 a	16,1	4289 a
Coinoculação (C)					
SEM	80 a	2,0	111 b	15,9	3940
COM	63 b	2,1	143 a	16,1	4147
Inoculação suplementar (S)					
SEM	65 b	2,1	116	16,1	3780 b
COM	80 a	2,1	110	16,4	4289 a
CV%	24,6	5,0	24,9	4,2	12,7
Valor de F					
A	10,708**	0,408	6,475**	0,408	3,872*
C	10,708**	0,408	6,475**	0,408	0,002
S	8,553**	0,163	0,015	0,163	3,872*
A x C	0,936	0,408	0,475	0,408	0,414
A x S	1,773	0,072	0,125	0,072	0,415
C x S	1,773	0,072	0,125	0,072	0,414
A x C x S	1,708	0,408	0,475	0,408	0,872

* e ** significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F. Letras distintas na coluna diferem pelo teste t (Student) a 5% de probabilidade.

Fonte: Própria autora, 2025.

O número de grãos por vagem (NGV) não apresentou diferenças significativas entre os fatores avaliados (Tabela 4), com médias próximas de 2,1 grãos por vagem. Essa variável é fortemente determinada geneticamente e pouco afetada por práticas de manejo (Nogueira e Hungria, 2019), o que explica a estabilidade observada mesmo diante das diferentes combinações de inoculantes.

Para o número de grãos por planta (NGP), houve diferenças significativas para a inoculação da área e para a coinoculação (Tabela 4). A inoculação da área com *A. brasilense* aumentou o número médio de grãos por planta de 116 para 140, enquanto a coinoculação elevou de 111 para 143 grãos por planta. Esses resultados reforçam o papel do *A. brasilense* como bactéria promotora de crescimento vegetal, atuando de forma sinérgica com *Bradyrhizobium* no estímulo à nodulação e à assimilação de nitrogênio, o que resulta em maior formação de vagens e grãos (Ferreira *et al.*, 2021).

A massa de 100 grãos (M100) não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 4), com valores médios variando de 15,9 a 16,5 g. Essa variável está relacionada principalmente à genética da cultivar e às condições climáticas durante o enchimento dos grãos, sendo pouco sensível às práticas de inoculação. O adequado suprimento hídrico (irrigação) e nutricional (solo com adequada fertilidade em SPD consolidado) durante o ciclo contribuiu para a manutenção da massa média dos grãos (Barros *et al.*, 2020).

A produtividade de grãos (PG) foi significativamente influenciada pela inoculação das culturas antecessoras da área e pela inoculação suplementar com *Bradyrhizobium*. A inoculação da área com *A. brasilense* resultou em produtividade de 4.289 kg ha⁻¹, superior à obtida sem inoculação (3.781 kg ha⁻¹). De forma semelhante, a inoculação suplementar elevou a produtividade de 3.780 para 4.289 kg ha⁻¹. Esses resultados evidenciam o potencial da inoculação e da inoculação adicional no aumento da eficiência fisiológica e da FBN, refletindo diretamente em maior acúmulo de biomassa e produtividade de grãos. Resultados similares foram relatados por Hungria *et al.* (2013) e Ferreira *et al.* (2021), que constataram incrementos de até 15 % na produtividade de soja co-inoculada com *Bradyrhizobium* e *Azospirillum*.

No caso da inoculação suplementar, os resultados comprovaram sua eficiência pelo aumento de NVP e PG. A aplicação do *B. japonicum* no estágio R1 da soja, pode vir a compensar a demanda por N, principalmente nos estádios de enchimento de grãos (R3-R5) (Gaspar et al., 2017; Hungria e Nogueira 2020). A literatura deixa claro que a eficiência da FBN pode diminuir ao longo do ciclo produtivo da cultura, e ser mais perceptível em R5-R6, quando a planta prioriza os grãos e o processo de senescência dos nódulos se inicia. É evidente que mesmo em solos com SPD consolidado, esse tipo de manejo pode vir a agregar em ganhos em PG, sendo uma técnica barata e acessível para o produtor (Krok et al., 2023; Gaspar et al., 2017; Hungria e Nogueira 2020).

A ausência de significância nos resultados de produtividade para coinoculação com *A. brasilense*, pode ser explicada nesse estudo pela condução do solo em SPD de longa duração. A literatura mostra que conduzir solos sob SPD por longos ciclos de cultivo tende a fazer a fertilidade e microbiologia dos solos se equilibrarem, o que garante a alta produtividade mesmo no tratamento controle (ade Souza et al., 2025; bde Souza et al., 2025). Mesmo assim, isso não dispensa a necessidade do uso de microrganismos benéficos ao longo dos ciclos de cultivo. O uso destes, garante renovação do estoque do solo e mantém a microfauna equilibrada, promovendo benefícios a dinâmica do ecossistema dos solos tropicais (Hungria e Nogueira, 2020).

De modo geral, observa-se um comportamento compensatório entre as variáveis populacionais e produtivas. Embora os tratamentos com *A. brasilense* tenham promovido maior população de plantas, isso não reduziu a produtividade, indicando que a cultura compensou a competição intraespecífica por meio de ajustes fisiológicos, mantendo o equilíbrio entre número de vagens, grãos e massa de grãos. Esse resultado reforça a plasticidade da soja em ajustar seus componentes de rendimento de acordo com o manejo e as condições ambientais, mantendo estável a produção por área (Ferreira et al., 2011).

5 CONCLUSÃO

A inoculação das culturas antecessoras da área com *Azospirillum brasilense* e a coinoculação das sementes com *Bradyrhizobium japonicum* e *A. brasilense* proporcionaram melhorias significativas em variáveis agrônômicas relacionadas ao crescimento e à produtividade da soja. A inoculação suplementar com *B. japonicum* também contribuiu positivamente, refletindo em maior número de vagens e aumento na produtividade de grãos. Esses resultados evidenciam a eficiência da coinoculação e da inoculação adicional como práticas complementares no manejo biológico da cultura, promovendo incrementos de produtividade e maior aproveitamento do N atmosférico. De modo geral, observou-se que, a associação entre os microrganismos simbióticos favoreceu o desenvolvimento reprodutivo da soja, sem alterar significativamente características morfológicas como altura de plantas e altura de inserção da primeira vagem. O efeito compensatório entre população e produção individual por planta demonstra a capacidade da soja de ajustar seus componentes de produção conforme as condições de manejo, mantendo estável a produtividade. Assim, o uso integrado de *B. japonicum*, inclusive com aplicação suplementar ao solo em R1 da soja e *A. brasilense*, principalmente usado nas gramíneas antecessoras, representa uma alternativa sustentável, de baixo custo e alta eficiência para o incremento da produtividade da soja em sistemas irrigados sob SPD consolidado.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBOSA, J. Z.; HUNGRIA, M.; SENA, J. V. S.; POGGERE, G.; REIS, A. R.; CORRÊA, R. S. Meta-analysis reveals benefits of co-inoculation of soybean with *Azospirillum brasilense* and *Bradyrhizobium* spp. in Brazil. *Applied Soil Ecology*, v. 163, e103913, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929139321000342>
- BARROS, R. L. N.; HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A. Efeitos da co-inoculação de *Bradyrhizobium* e *Azospirillum* na soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 44, e0190082, 2020. <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20190082>.
- BOCATTI, C. R.; FERREIRA, E.; RIBEIRO, R. A.; CHUEIRE, L. M. O.; DELAMUTA, J. R. M.; KOBAYASHI, R. K. T.; HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A. Microbiological quality analysis of inoculants based on *Bradyrhizobium* spp. and *Azospirillum brasilense* produced “on farm” reveals high contamination with non-target microorganisms. *Brazilian Journal of Microbiology*, v. 53, p. 267-280, 2022. DOI: 10.1007/s42770-021-00649-2.
- BOLDRINI, Gabriela de Almeida. *Inoculação e co-inoculação com Bradyrhizobium e Azospirillum em soja em áreas inoculadas ou não com Azospirillum brasilense em anos consecutivos*. 2024. 40 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônoma) — Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Faculdade de Engenharia, Campus de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2024. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstreams/2eddfa3c-6d5a-4615-ae9a-31cbcd0b5da5/download>
- CANOFF, L. M. A. Revisão de literatura: co-inoculação de *Azospirillum brasilense* na cultura da soja. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2021.
- CASSÁN, F. D.; DIAZ-ZORITA, M. *Azospirillum* sp. in current agriculture: from the laboratory to the field. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 103, p. 117–130, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.08.020>.
- CHIBEBA, A. M.; GUIMARÃES, M. F.; BRITO, O. R.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S.; HUNGRIA, M. Co-inoculation of soybean with *Bradyrhizobium* and *Azospirillum* promotes early nodulation. *American Journal of Plant Sciences*, v. 6, p. 1641-1649, 2015.
- CRUSCIOL, C. A. C. et al. Diverse bacterial consortia: key drivers of rhizosoil fertility modulating microbiome functions, plant physiology, nutrition, and soybean grain yield. *Environmental Microbiome*, v. 19, n. 50, 2024. Disponível em: <https://environmentalmicrobiome.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40793-024-00595-0>.
- CONAB. 8º Levantamento – Safra 2024/25. Boletim da Safra de Grãos. Publicado em 15 maio 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt->

bratuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/8o-levantamento-safra-2024-25.

DERPSCH, R. et al. Why do we need to standardize no-tillage research? *Soil and Tillage Research*, v. 137, p. 16–22, 2014.

EMBRAPA. Características da soja. In: *Agência de Informação Tecnológica – Cultivos: Soja – Pré-produção/Características da espécie e relações com o ambiente*. Brasília: Embrapa, [s.d.]. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/soja/pre-producao/caracteristicas-da-especie-e-relacoes-com-o-ambiente/caracteristicas-da-soja>.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). *Soja no Brasil: safra 2023/24 e panorama da produção nacional*. Londrina: Embrapa Soja, 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1>

FERREIRA, A. S.; HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J. Co-inoculação de soja com *Bradyrhizobium* e *Azospirillum*: ganhos agronômicos e fisiológicos sob diferentes condições de cultivo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 45, e0200132, 2021. <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20200132>.

FERREIRA, E.; NOGUEIRA, M. A.; FUKAMI, J.; GUNDI, J. S.; TERASSI, F. S.; CONCEIÇÃO, R.; HUNGRIA, M. Recuperação e sobrevivência de *Bradyrhizobium* em sementes de soja tratadas com fungicidas e inseticidas. In: *Iberoamerican Conference on Beneficial Plant-Microorganism-Environment Interactions; National Meeting of the Spanish Society of Nitrogen Fixation; Latin American Meeting on Rhizobiology; Spanish-Portuguese Congress on Nitrogen Fixation*, Sevilla, 2013. Sevilla: Universidad de Sevilla; ALAR; SEFIN, 2013. p. 459–460.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039–1042, 2011.

FPA – FEDERAÇÃO DOS PLANTADORES DE ALGODÃO. Importância da soja para o Brasil. 5 nov. 2021. Disponível em: <https://fpagropecuaria.org.br/2021/10/18/importancia-da-soja-para-o-brasil/>.

FUKAMI, J.; CEREZINI, P.; HUNGRIA, M. *Azospirillum*: benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. *AMB Express*, v. 8, art. 73, 2018. DOI: 10.1186/s13568-018-0608-1.

GASPAR, Adam P.; LABOSKI, Carrie A. M.; NAEVE, Seth L.; CONLEY, Shawn P. Dry matter and nitrogen uptake, partitioning, and removal across a wide range of soybean seed yield levels. *Crop Science*, v. 57, n. 4, p. 2170–2182, 2017. DOI:10.2135/cropsci2016.05.032

GALINDO, F. S.; RODRIGUES, W. L.; FERNANDES, G. C.; BOLETA, E. H. M.; JALAL, A.; ROSA, P. A. L.; BUZETTI, S.; LAVRES, J.; FILHO, M. C. M. T. Enhancing agronomic efficiency and maize grain yield with *Azospirillum* brasilense inoculation under Brazilian savannah conditions. *European Journal of Agronomy*, v. 134, p. 126471, 2022. DOI: 10.1016/j.eja.2022.126471.

Hernani, L.C. *Sistema Plantio Direto*; Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária: Brasília, Brazil, 2021; Available

online: https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/sistema-plantio-direto/fundamentos?p_auth=C2IIvqOL&p_p_id=82&p_p_lifecycle=1&p_p_state=normal&p_p_mode=view&82_struts_action=%2Flanguage%2Fview&82_languageId=en_US.

Hungria, M.; Mendes, I. C.; Mercante, F. M. A importância da inoculação e da coinoculação na cultura da soja em sistemas agrícolas modernos. Londrina: Embrapa Soja, 2020. (Documentos, 432).

HUNGRIA, M. *Inoculação com Azospirillum brasilense: inovação em rendimento a baixo custo*. Londrina: Embrapa Soja, 2011. (Circular Técnica 325). 36 p.

HUNGRIA, M. et al. *Reinoculação e adubação nitrogenada na cultura da soja*. Londrina: Embrapa Soja, 2008.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAÚJO, R. S. Co-inoculation of soybeans and common beans with rhizobia and azospirilla: strategies to improve sustainability. *Biology and Fertility of Soils*, v. 49, p. 791–801, 2013. <https://doi.org/10.1007/s00374-012-0771-5>.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; SANTOS, M. A.; OLIVEIRA, M. C. *Inoculação e co-inoculação em soja e feijoeiro: avanços recentes e perspectivas futuras*. Londrina: Embrapa Soja, 2020. (Embrapa Soja, Documentos 428). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/213974/1/Doc428.pdf>.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A. Fixação biológica de nitrogênio. In: SEIXAS, C. D. S.; NEUMAIER, N.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; KRZYŻANOWSKI, F. C.; LEITE, R. M. V. B. de C. (ed.). *Tecnologias de produção de soja*. Londrina: Embrapa Soja, 2020. 347 p. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 17).

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A. Tecnologias de inoculação da cultura da soja: mitos, verdades e desafios. In: KAPPES, C. (Ed.). *Boletim de Pesquisa 2019/2020*. Rondonópolis: Fundação MT, 2019. p. 50-62. (Fundação MT. Boletim, 19).

LANDERS, J. N. *Zero tillage development in tropical Brazil: the story of a successful NGO activity*. Rome: FAO, 2001. (FAO Agricultural Services Bulletin, 147). Disponível em: <https://www.fao.org/3/y2638e/y2638e00.htm>.

MALUK, M.; GILES, M.; WARDELL, G. E.; AKRAMIN, A. T.; FERRANDO-MOLINA, F.; MURDOCH, A.; BARROS, M.; BEUKES, C.; VASCONCELOS, M.; HARRISON, E.; DANIELL, T. J.; QUILLIAM, R. S.; IANNETTA, P. P. M.; JAMES, E. K. Biological nitrogen fixation by soybean (*Glycine max* (L.) Merr.), a novel, high protein crop in Scotland, requires inoculation with non-native bradyrhizobia. *Frontiers in Agronomy*, v. 5, 1196873, 2023. DOI: 10.3389/fagro.2023.1196873.

MATOS, A. P. de. *Inoculação de Azospirillum brasilense para amenização dos efeitos do déficit hídrico em plantas de milho, feijão, trigo e soja*. 2024. Tese (Doutorado em Agronomia) — Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2024. Disponível em: <https://tede2.uepg.br/jspui/handle/prefix/4348>

MARQUES, D. M. *et al.* Gas exchange, root morphology and nutrients in maize plants inoculated with *Azospirillum brasilense* cultivated under two water conditions. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v. 64, e21190580, 2021. DOI: 10.1590/1678-4324-2021190580.

NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. Biossimbiose e co-inoculação em soja e feijoeiro: efeitos sobre a nodulação, crescimento e produtividade. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 62, p. 1–13, 2019.

PASSOS, A. M. A. dos; ALVARENGA, R. C.; SANTOS, F. C. dos. Sistema de plantio direto. In: *Agricultura de baixo carbono: tecnologias e estratégias de implantação*. Brasília: Embrapa, 2018. Cap. 3, p. 62–83. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1101765/1/SistemaPlantioDireto.pdf>.

PELAGIO-FLORES, R.; RAVELO-ORTEGA, G.; GARCÍA-PINEDA, E.; LÓPEZ-BUCIO, J. A century of *Azospirillum*: plant growth promotion and agricultural promise. *Plant Signaling & Behavior*, Abingdon, v. 20, n. 1, art. 2551609, 2025. DOI: 10.1080/15592324.2025.2551609.

PRANDO, A. M. *et al.* Coinoculação da soja com *Bradyrhizobium* e *Azospirillum* na safra 2019/2020 no Paraná. Londrina: Embrapa Soja; IDR-Paraná, 2020. (Circular Técnica 166). 22 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1129470/1/CircularTecnica-166.pdf>.

PRANDO, A. M.; OLIVEIRA, A. B. de; LIMA, D. de; POSSAMAI, E. J.; REIS, E. A.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. Coinoculação da soja com *Bradyrhizobium* e *Azospirillum* na safra 2020/2021 no Paraná. Londrina: Embrapa Soja, 2022. 24 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 181).

SARTORI, Felipe Fadel *et al.* Potentially harmful effects of seed treatment and pre-inoculation on soybean biological nitrogen fixation and yield. *European Journal of Agronomy*, v. 142, p. 1–6, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126660>

SILVA, G. F. da; CALONEGO, J. C.; LUPERINI, B. C. O.; SILVEIRA, V. B.; CHAMMA, L.; SORATTO, R. P.; PUTTI, F. F. *No-tillage system can improve soybean grain production more than conventional tillage system*. *Plants*, Basel, v. 12, n. 21, p. 3762, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12213762>

SOUSA, W. S. *et al.* Supplementary reinoculation in topdressing of *Rhizobium tropici* in common bean crop: effects on nodulation, morphology, and grain yield. *Journal of Plant Nutrition*, v. 45, e20, 2021.

SOUZA, I. N. de; CRISTOVAM, M. E. P.; MORAES, E. L.; MODESTO, V. C.; RIBEIRO, N. A. A.; GIRARDI, V. A. M.; SOUZA JÚNIOR, N. C.; MATOS, A. M. S.; SALLES, J. S.; GASPARINI, C. S.; BORGES, W. L. B.; ANDREOTTI, M. Effects on Soil Fertility and Crop Productivity Under Residual Agricultural Gypsum and *Azospirillum brasilense* in Cover Crops in a Consolidated No-Tillage System. *Plants*, v. 14, n. 20, art. 3230, 2025. DOI:10.3390/plants14203230.

de SOUZA, I. M. D.; BORGES, W. L. B.; JULIANO, P. H. G.; MODESTO, V. C.; GIRARDI, V. A. M.; DE SOUZA JÚNIOR, N. C.; RIBEIRO, N. A. A.; MATOS, A. M. S.; GALINDO, F. S.; ANDREOTTI, M. Methodologies for Agricultural Gypsum Application Recommendations in No-Tillage Systems on Tropical Sandy Soils. *Agronomy*, v. 15, n. 2, art. 416, 2025. DOI: 10.3390/agronomy15020416.

SZPUNAR-KROK, Ewa; BOBRECKA-JAMRO, Dorota; PIKUŁA, Wojciech; JAŃCZAK-PIENIAŻEK, Marta. Effect of Nitrogen Fertilization and Inoculation with *Bradyrhizobium japonicum* on Nodulation and Yielding of Soybean. *Agronomy*, v. 13, n. 5, p. 1341, 2023. DOI:10.3390/agronomy13051341.

RONDINA, A. B. L.; SANZOVO, A. W. S.; GUIMARÃES, G. S.; WENDLING, J. R.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. Changes in root morphological traits in soybean co-inoculated with *Bradyrhizobium* spp. and *Azospirillum brasilense* or treated with *A. brasilense* exudates. *Biology and Fertility of Soils*, v. 56, p. 537-549, 2020.

TEIXEIRA, F. C. P.; OLIVEIRA, D. P.; FERREIRA, E. P. B.; ZILLI, J. E. Additional inoculation of *Bradyrhizobium* spp. improves nodulation and nitrogen fixation in soybean under field conditions. *Archives of Microbiology*, v. 204, n. 5, p. 1–12, 2022. <https://doi.org/10.1007/s00203-022-02854-0>

TEIXEIRA, I. R. et al. Response of common bean to *Rhizobium* reinoculation in topdressing. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 26, n. 4, p. 274–282, 2022. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n4p274-282>.

TELLES, T. S.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. Economic value of biological nitrogen fixation in soybean crops in Brazil. *Environmental Technology & Innovation*, v. 31, p. 103158, 2023. DOI: 10.1016/j.eti.2023.103158. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352186423001542>.

VOLK, L. B. S.; COGO, N. P.; STRECK, E. V. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície ou subsuperfície do solo resultantes do seu manejo, na ausência de cobertura vegetal. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, n. 4, p. 585–596, 2004.

ZAPATA, F.; DANSO, S. K. A.; HARDARSON, G.; FRIED, M. Time course of nitrogen fixation in field-grown soybean using nitrogen-15 methodology. *Agronomy Journal*, v. 79, n. 1, p. 172–176, 1987. DOI:10.2134/agronj1987.00021962007900010035x.