

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE ENGENHARIA – CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

CURSO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA

**INOCULAÇÃO DE MICRORGANISMOS PROMOTORES DE CRESCIMENTO NOS
COMPONENTES DE PRODUÇÃO E PRODUTIVIDADE DO FEIJÃO COMUM**

JOÃO PAULO FURLAN RODRIGUES

Ilha Solteira

Setembro de 2025

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE ENGENHARIA – CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

CURSO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA

**INOCULAÇÃO DE MICRORGANISMOS PROMOTORES DE CRESCIMENTO
NOS COMPONENTES DE PRODUÇÃO E PRODUTIVIDADE DO FEIJÃO COMUM**

JOÃO PAULO FURLAN RODRIGUES

Orientador: Prof. Dr. Orivaldo Arf

Coorientador: Prof. Dr. Fernando de Souza Buzo

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Faculdade de Engenharia da Unesp –
Câmpus de Ilha Solteira, como parte dos
requisitos para obtenção do grau de
Engenheiro Agrônomo.

Ilha Solteira

Dezembro de 2025

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvida pela Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação

R696i Rodrigues, João Paulo Furlan.
Inoculação de microrganismos promotores de crescimento nos
componentes de produção e produtividade do feijão comum / João Paulo
Furlan Rodrigues. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2025
30 f. : il.

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

Orientador: Orivaldo Arf
Coorientador: Fernando de Souza Buzo
Inclui bibliografia

1. *Phaseolus vulgaris*. 2. Fixação biológica de nitrogênio. 3. Redução de
custos de produção.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO" FACULDADE
DE ENGENHARIA – UNESP – CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA CURSO DE GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA AGRONÔMICA**

ATA DA DEFESA – TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO: INOCULAÇÃO DE MICRORGANISMOS PROMOTORES DE CRESCIMENTO DE PLANTAS
NOS COMPONENTES DE PRODUÇÃO E PRODUTIVIDADE DO FEIJÃO COMUM.

ALUNO: JOÃO PAULO FURLAN RODRIGUES - RA: 201052172

ORIENTADOR: ORIVALDO ARF

CO-ORIENTADOR: FERNANDO DE SOUZA BUZO

Aprovado (**X**) Reprovado () pela Comissão Examinadora com nota obtida: 9,0

Comissão Examinadora:

Orivaldo Arf

Edson Lazarini

Bruna Miguel Cardoso
(Doutoranda em Agronomia)

João Paulo Furlan Rodrigues
Aluno

Ilha Solteira (SP), 04 de dezembro de 2025.

*Dedico este trabalho à minha família, pelo
amor, educação e incentivo me dado até aqui.
É por vocês!*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pelo dom da vida, por ter me sustentado até aqui, me fortalecendo para avançar os obstáculos que me foram impostos durante essa jornada, e por nunca ter me abandonado.

Minha eterna gratidão à minha mãe, Marionice Furlan Rodrigues, ao meu pai, João Batista Rodrigues, e ao meu irmão, João Pedro Furlan Rodrigues, que me ensinaram o verdadeiro valor de uma família, por todo o esforço e suor derramado para que conseguissem me manter e para que eu pudesse realizar meu sonho de concluir o curso.

A Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Campus de Ilha Solteira pelo aprendizado profissional e pessoal, que contribuíram para minha formação e para que hoje pudesse fazer parte da comunidade unespiana.

A todos os professores que fizeram parte da minha jornada acadêmica, guardo um respeito imenso por cada um. Em especial ao meu orientador Prof. Dr. Orivaldo Arf pelas orientações assertivas e puxões de orelha quando necessário, sendo um exemplo de profissional e professor, que me fez enxergar a importância da pesquisa para o nosso setor.

Aos técnicos dos laboratórios do Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia, Tião e Alexandre, por me auxiliarem com paciência nas análises laboratoriais.

Aos colegas do grupo de pesquisa conduzido pelo Prof. Dr. Orivaldo Arf e Prof. Dr. Fernando de Souza Buzo, pela parceria durante a realização dos experimentos em campo e em laboratório.

Ao Prof. Dr. Fernando de Souza Buzo por todo o suporte dado no decorrer das atividades da minha iniciação científica, no campo, no laboratório, na escrita dos relatórios e do presente trabalho de conclusão de curso.

Em especial à minha República, meu segundo lar durante a graduação, aos meus amigos e irmãos que moraram junto comigo e que dividiram as alegrias e frustrações durante essa jornada: Balão, Kiwi, Jaques, Kugu, Susto, Cocão, Pacato, Casagrande, Maomé, Quero-Quero, Pherb, Zorro, Cascão, Beira, Drop, Setembro, Marquito e Optativo.

A empresa júnior Ramo da Terra e a todos com quem trabalhei e convivi durante a minha passagem. Foi uma experiência única onde aproveitei o máximo e pude me desenvolver como profissional e ser humano.

A todos os amigos da turma LVIII, na qual vou levar as amizades, as brincadeiras, as alegrias vividas em todos esses anos, guardados em meu coração.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pelo auxílio financeiro com bolsa de Iniciação Científica PIBIC/CNPq.

RESUMO

No Brasil, o feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), possui grande importância socioeconômica e pode ser produzido em até três safras anuais. Tendo em vista a sua alta exigência nutricional, o suprimento de nutrientes geralmente é realizado através de fertilizantes químicos, o que reforça a necessidade de buscar alternativas mais sustentáveis do ponto de vista econômico e ambiental, como o uso de microrganismos promotores de crescimento de plantas: *Azospirillum brasilense*, *Azomonas macrocytogenes*, *Azotobacter beijerinckii*, *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus aryabhattai*, *Burkholderia vietnamiensis*, e *Nitrospirillum amazonense*, bactérias que atuam na FBN (Fixação Biológica de Nitrogênio), na solubilização de fósforo, proteção contra patógenos, aumento de resistência a estresses bióticos e abióticos, entre outros. Posto isso, o objetivo do trabalho foi avaliar a inoculação de microrganismos no feijão e sua contribuição para a produtividade, teor de nitrogênio e fósforo foliar, índice de clorofila foliar, massa seca da parte aérea, vagens por planta, grãos por planta, grãos por vagem, massa de cem grãos e população final de plantas, a fim de identificar espécies que podem ser usadas para formulação de novos produtos inoculantes. O experimento ocorreu na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNESP, no município de Selvíria (MS), em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico de textura argilosa. O cultivar utilizado foi o IAC 1850, do Instituto Agrônomo de Campinas. O delineamento experimental adotado foi de blocos ao acaso, com 4 repetições e 8 tratamentos. Os dados foram submetidos ao Teste F da Análise de Variância e as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% probabilidade e via SISVAR. Concluiu-se que no geral as inoculações foram positivas para o feijoeiro, com destaque para as inoculações com as bactérias *Azospirillum brasilense*, *Azomonas macrocytogenes*, *Bacillus aryabhattai*, e *Burkholderia vietnamiensis*, numericamente, promoveram acréscimos na quantidade de vagens por planta, grãos por planta, mas estatisticamente não foram distintas entre si, portanto, havendo espaço para novos testes com essas e outras bactérias.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L; fixação biológica de nitrogênio; redução de custos de produção.

ABSTRACT

In Brazil, common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) are of great socioeconomic importance and can be produced in up to three annual harvests. Due to their high nutritional requirements, nutrient supply is generally achieved through chemical fertilizers, reinforcing the need to seek more sustainable alternatives from an economic and environmental point of view, such as the use of plant growth-promoting microorganisms: *Azospirillum brasilense*, *Azomonas macrocytogenes*, *Azotobacter beijerinckii*, *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus aryabhattai*, *Burkholderia vietnamiensis*, and *Nitrospirillum amazonense*. These bacteria act in biological nitrogen fixation (BNF), phosphorus solubilization, protection against pathogens, increased resistance to biotic and abiotic stresses, among other benefits. Given this, the objective of this work was to evaluate the inoculation of microorganisms in beans and their contribution to productivity, foliar nitrogen and phosphorus content, foliar chlorophyll index, shoot dry mass, number of pods per plant, number of grains per plant, number of grains per pod, mass of one hundred grains, and final plant population, aiming to identify species that can be used in the formulation of new inoculants. The experiment was conducted at the UNESP Teaching, Research and Extension Farm, in the municipality of Selvíria (MS), in a typical dystrophic Red Latosol with clayey texture. The cultivar used was IAC 1850, from the Agronomic Institute of Campinas. The experimental design adopted was randomized blocks, with 4 replications and 8 treatments. The data were subjected to the F-test of Analysis of Variance and the means were compared by the Scott-Knott test at 5% probability and via SISVAR. It was concluded that, overall, the inoculations were positive for common beans, with particular emphasis on inoculations with the bacteria *Azospirillum brasilense*, *Azomonas macrocytogenes*, *Bacillus aryabhattai*, and *Burkholderia vietnamiensis*. Numerically, they promoted increases in the number of pods and grains per plant, but statistically they did not show significant differences among themselves. Therefore, there is room for further testing with these and other bacteria.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L; biological nitrogen fixation; reduction of production costs.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Data, produto, concentração, princípio ativo e calda das aplicações de inseticidas e fungicidas no experimento. Selvíria (MS), 2023.....	18
Tabela 2. Valores do acúmulo de Massa Seca da Parte Aérea (MSPA), Índice de Clorofila Foliar (ICF), nitrogênio (N) e fósforo (P), no estágio de florescimento do feijão, em função da inoculação com bactérias. Selvíria (MS), 2023.....	20
Tabela 3. Valores de vagens por planta, grãos por planta e grãos por vagem, em função da inoculação com bactérias. Selvíria (MS), 2023.....	21
Tabela 4. Valores de população final, massa de cem grãos e produtividade da cultivar IAC-1850 em função da inoculação com bactérias. Selvíria (MS), 2023.....	22

LISTA DE FIGURAS

Figuras 1 e 2. Plântulas de feijão em V1.....	27
Figura 3. Área experimental - FEPE, Selvíria (MS).....	27
Figuras 4 e 5. Entrelinha do feijão após adubação de cobertura.....	28
Figura 6. Feijoeiro em V4.....	28
Figura 7. Raízes do feijoeiro com presença de nódulos.....	29

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	10
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1.	IMPORTÂNCIA DA CULTURA DO FEIJÃO	11
2.2.	BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO	11
2.2.1.	<i>Azospirillum brasilense</i>	12
2.2.2.	<i>Azomonas macrocytogenes</i>	13
2.2.3.	<i>Azotobacter beijerinckii</i>	13
2.2.4.	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	14
2.2.5.	<i>Bacillus aryabhattai</i>	14
2.2.6.	<i>Burkholderia vietnamiensis</i>	14
2.2.7.	<i>Nitrospirillum amazonense</i>	15
3.	MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1.	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	16
3.2.	ÁREA E CONDUÇÃO.....	16
3.3.	AVALIAÇÕES	18
3.4.	ANÁLISE ESTATÍSTICA	18
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
5.	CONCLUSÃO	22
6.	REFERÊNCIAS	23
7.	APÊNDICE - FOTOS DO EXPERIMENTO.....	26

1. INTRODUÇÃO

O feijão é considerado a leguminosa mais importante para o consumo direto no mundo, cultivado em 113 países e possui grande relevância para segurança alimentar e agricultura sustentável (FAO, 2020). No cenário mundial, a produção de feijão no Brasil tem se destacado. Em 2021 o país ocupou a segunda posição entre os maiores produtores mundiais (FAOSTAT, 2021).

O território brasileiro dispõe de condições favoráveis ao desenvolvimento da cultura, possuindo três épocas distintas de cultivo: primeira, segunda e terceira safra. Atualmente, de acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento - Conab (2024), a produção de feijão do tipo cores na safra 2023/24 foi de 1,85 milhões de toneladas, com área cultivada de 2.891,1 mil hectares.

Historicamente, o feijão é cultivado no Brasil por pequenos produtores descapitalizados, com baixo uso de insumos externos e voltado, sobretudo, para a subsistência das famílias. Além do baixo nível tecnológico empregados pelos produtores, a baixa produtividade da cultura no país, relaciona-se ao seu cultivo em solos de baixa fertilidade, especialmente em nitrogênio (N) e em fósforo (P) (Mercante *et al.*, 1999).

O feijoeiro apresenta alta exigência em qualidade física e química do solo. Em solos de fertilidade reduzida produção do feijoeiro é diretamente afetada por não conter, principalmente, teores suficientes de nitrogênio, devido ao seu ciclo rápido e alta exportação de nutrientes pelos grãos - 50% de nitrogênio absorvido (Mercante *et al.*, 2006 *apud* Santos e Silva, 2002).

Nesse contexto, a utilização de micro-organismos vem ganhando espaço, sendo empregada de forma combinada, em pequena escala, ao uso de fertilizantes minerais (Bonaterra *et al.*, 2012; Oliveira *et al.*, 2018).

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi testar bactérias na inoculação do feijão carioca que ainda não são produtos para a cultura, a fim de identificar espécies que possam se tornar alternativas para melhoria da produtividade e dos componentes de produção da cultura do feijão.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. IMPORTÂNCIA DA CULTURA DO FEIJÃO

A origem do feijoeiro comum está dividida entre as regiões da Mesoamérica e da América do Sul, que são reconhecidas como os centros de maior diversidade morfológica dessa espécie (Oliveira; Wander, 2023).

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma leguminosa, pertencente à família Fabaceae, originária do continente americano, especificamente no México e Sul dos Andes (Toro; Tohme; Debouck, 1990).

A espécie apresenta uma notável variabilidade morfológica, fisiológica e genética em comparação com outras leguminosas (Celmeli *et al.*, 2018), e é amplamente difundida em todo o mundo devido à sua capacidade de adaptação a diferentes ambientes (Bitocchi *et al.*, 2017; Ribeiro, 2020).

Segundo a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (*apud* Padilha *et al.*, 2017), os grãos de plantas leguminosas são fonte de proteínas, carboidratos, fibras alimentares, ferro, vitaminas do complexo B, entre outros minerais. Quando em conjunto com o arroz, atende a necessidade de proteína necessária para a alimentação humana. Além disso, sua importância alimentar deve-se ao menor custo de sua proteína, quando comparado aos produtos de origem animal (Mesquita *et al.*, 2007).

2.2. BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO

Nas plantas, comunidades bacterianas podem ser encontradas em associação com diferentes tecidos, e sua atuação pode ocorrer através de processos essenciais para o desenvolvimento da planta, ou através do controle biológico, por antibiose ou pela indução de resistência sistêmica vegetal (Andreote, 2007).

As bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV) são bactérias benéficas de vida livre e possuem grande importância na agricultura. As BPCV podem ser classificadas como epífitas (encontradas na superfície vegetal) ou endofíticas, capazes de colonizar o interior do vegetal, em alguma fase do seu ciclo de vida (Kumar *et al.*, 2017). Dentro desse grupo existem algumas espécies, que podem estimular o crescimento vegetal através de interações diretas ou indiretas com as raízes das plantas, podendo auxiliar no desenvolvimento vegetal.

Tais microrganismos atuam de formas diferentes na promoção de crescimento das plantas, como no incremento da absorção de nutrientes, solubilização de minerais, fixação

biológica de N₂ (FBN), produção de ácido cianídrico, enzimas como a ACC-desaminase, fitormônios que podem interferir no crescimento das plantas, bem como promover o crescimento de raízes (Sala *et al.*, 2007; Figueiredo *et al.*, 2010). Algumas dessas bactérias são capazes de apresentar mais de um mecanismo de promoção de crescimento nas plantas (Ahmad *et al.*, 2008).

Na maioria dos gêneros de bactérias endofíticas, a produção de fitormônios como auxinas, citocininas e etileno, aumento da absorção de água e nutrientes são os principais responsáveis pelo crescimento da planta (Mariano *et al.*, 2004) e solubilização de fosfato (Verma; Ladha; Tripathi, 2001), produção de ácido-indol-acético (Lee *et al.*, 2000) e produção de sideróforos (Costa; Loper, 1994).

A introdução de bactérias benéficas pode normalizar e, em alguns casos, melhorar o desempenho da planta em ambientes estressantes, preservando o rendimento (Bensalim *et al.*, 1998). Algumas espécies de microrganismos podem estar relacionadas a tolerância a estresses abióticos, induzindo ou mediando a tolerância, uma vez que são capazes de estimular a produção de substâncias osmorreguladoras. Além do ajustamento osmótico, podem estar envolvidos também na regulação da abertura e fechamento estomático, em modificações morfológicas e histológicas dos tecidos vegetais, assim contribuindo para a tolerância ao déficit hídrico.

Alguns gêneros de bactérias como o *Bacillus*, solubilizam fosfato através da produção de ácidos orgânicos e inorgânicos, transformando o fósforo insolúvel em fósforo disponível para as plantas (Rodríguez e Fraga, 1999).

A aplicação de bactérias dos gêneros *Azotobacter* e *Azospirillum* em cereais tem aumentado a produção dos cultivos (Goswami *et al.*, 2016).

Portanto, a inoculação desses microrganismos, podem melhorar diversos aspectos, como a taxa de germinação de sementes, crescimento das raízes e caule (Solomon *et al.*, 2023), o rendimento, tamanho das folhas, o teor de clorofila, e absorção de nutrientes (Racioppo *et al.*, 2023).

2.2.1. *Azospirillum brasilense*

Dentre as bactérias do gênero *Azospirillum*, a espécie de maior potencial é a *Azospirillum brasilense*. Essa bactéria pode gerar diversos estímulos para o crescimento das plantas, destacando-se a fixação biológica de N (Fukami *et al.*, 2016), produção de hormônios

vegetais como auxinas, giberelinas e citocininas (Cavallet *et al.*, 2000), solubilização de fosfato, maior desenvolvimento radicular (Kazi *et al.*, 2016), aumento nos teores de clorofila e condutância estomática (Hungria 2011), além de alterações na atividade fotossintética das plantas (Gordillo-Delgado *et al.*, 2016). Ainda, quando crescem dentro da planta, podem aumentar a atividade da enzima nitrato redutase (Hungria, 2011).

Burdman *et al.*, (1996; 1997), afirmam que a inoculação com *Azospirillum* ssp. aumenta o número de pelos radiculares e, como há aumento do sistema radicular. Esses autores verificaram em experimento, que o feijoeiro, quando associado à *Azospirillum brasilense*, produz uma maior quantidade flavonoides e isoflavonoides, os quais estimulam a nodulação.

2.2.2. *Azomonas macrocytogenes*

Azomonas spp. têm sido encontradas em habitats de água corrente. Existe somente um relato na literatura sobre a ocorrência de uma espécie desse gênero em solo, a *Azomonas macrocytogenes*, diferindo das outras espécies por utilizar como fonte de carbono manitol e maltose e por não utilizar malonato (Döbereiner *et al.*, 1995; Becking, 1991b).

De acordo com Pati, Sengupta e Chandra, 1995, a bactéria *Azomonas macrocytogenes*, ocasionou um aumento na longitude das raízes do trigo através da produção de fito-hormônios como ácido-indol-3-acético (IAA) e giberelinas.

2.2.3. *Azotobacter beijerinckii*

Azotobacter beijerinckii pode fixar nitrogênio, dissolver fósforo, disponibilizar nutrientes do solo, produzir hormônios vegetais para promover o crescimento das plantas, produzir sideróforos para melhorar a resistência das plantas ao estresse e pode estimular reações enzimáticas no solo (Aqui-lanti *et al.*, 2004; Jain *et al.*, 2021; Yamagata e Itano, 1923).

Do gênero *Azotobacter*, *A. beijerinckii*, tem a capacidade de sintetizar antibióticos e gerar substâncias que promovem o crescimento das plantas (Pandey e Kumar, 1990, citados por Avella, 2007).

É uma bactéria promotora do crescimento das plantas, uma vez que segrega substâncias como auxinas, giberelinas e citocininas, ajudando assim a melhorar as culturas e evitando o uso de agroquímicos (Wu, Moreno e Vela, 1987).

Alguns apontam para o facto de crescer no solo devido à sua capacidade de oxidar ácidos húmicos derivados da mineralização da matéria orgânica, sugerindo uma possível estratégia

para a bactéria sobreviver e eventualmente crescer em solos pobres em matéria orgânica (Moreno, 1986).

2.2.4. *Bacillus amyloliquefaciens*

Bacillus amyloliquefaciens pode ser isolado de vários ambientes distintos, inclusive alimentos e solo. Essa bactéria produz dezenas de enzimas de interesse industrial e possui grande atividade microbiana, podendo ser utilizada no controle de fungos, bactérias e nematoides (Monnerat *et al.*, 2020)

Ngalimat *et al.* (2021) relatam que o grupo das bactérias *B. amyloliquefaciens* possuem habilidades que envolvem vários mecanismos, incluindo ação direta (produção fitormônios) e indireta (proteção fitossanitária) na planta.

As cepas de *B. amyloliquefaciens*, quando associadas às pertencentes a subsp. *plantarum* se destacam por sua capacidade de colonizar a rizosfera vegetal, estimular o crescimento da planta e suprimir bactérias e fungos fitopatogênicos concorrentes (Qiao *et al.*, 2014)

Secreta vários ácidos orgânicos, dentre eles ácido oxálico, acético, málico e malônico, capazes de solubilizar nutrientes do solo, melhorando sua disponibilidade na rizosfera (Kim *et al.*, 2017; Satyaprakash *et al.*, 2017), e consequentemente, sua disponibilidade para as plantas.

2.2.5. *Bacillus aryabhattai*

Promove o crescimento do feijão-caupi através do aumento da produção de indol, de sideróforos, solubilização de fosfato e aumento da atividade da desaminase do ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (Inthama, 2021).

Pode secretar também muitos ácidos orgânicos, incluindo ácido oxálico, malônico, cítrico, succínico e ácido indol acético (IAA), que promovem o crescimento das plantas (Song, 2021).

O crescimento e a produtividade do arroz são positivamente melhorados pelo tratamento com *B. aryabhattai*. Esta bactéria melhora a tolerância das plantas ao sal através do aumento da fixação de nitrogênio atmosférico, solubilização de fosfato e produção de ácido indol acético (Sultana, 2020).

2.2.6. *Burkholderia vietnamiensis*

Esta bactéria, que foi originalmente descrita como agente causal da podridão mole em cebola (Burkholder, 1950), tem sido encontrada em diferentes tipos de solos e raízes.

Atualmente essa bactéria é considerada de grande importância devido ao seu uso no controle biológico, por apresentar antagonismo a alguns patógenos de plantas existentes no solo (McLoughlin *et al.*, 1992), bem como por degradar alguns pesticidas (Jacobsen, 1997; Mars *et al.*, 1996; Peñaloza-Vazquez *et al.*, 1995).

B. vietnamiensis foi isolada pela primeira vez da rizosfera do arroz (Gillis *et al.*, 1995), onde foi encontrada em associação com plantas de milho, sorgo e café (Estrada de los Santos *et al.*, 2001).

A capacidade de *B. vietnamiensis* como bactéria promotora de crescimento de plantas foi confirmada em experimentos de inoculação em arroz e cana-de-açúcar, nos quais foi detectado aumento significativo no peso seco das plantas. Embora não tenha sido observada diferença no teor de nitrogênio no arroz, mas sim. na cana-de-açúcar, indicando que a fixação de nitrogênio é o mecanismo promotor de crescimento (Trân Van, 2000).

2.2.7. *Nitrospirillum amazonense*

Nitrospirillum amazonense é uma rizobactéria fixadora de nitrogênio e promotora de crescimento vegetal (Matoso, 2020). A espécie através da produção de fitormônios indutores de crescimento, estimula a brotação de gemas e o desenvolvimento de raízes laterais e pelos radiculares, aumentando a eficiência de absorção das plantas a elas associadas (Costa, 2016).

Alguns estudos sobre o metabolismo e genética da fixação de nitrogênio em *N. amazonense* têm sido conduzidos e englobam diferentes categorias funcionais. Reguladores centrais no metabolismo de nitrogênio como as proteínas PII, grupos de genes responsáveis pela transferência de elétrons para a nitrogenase e grupos de genes para o complexo da enzima nitrogenase (Potrich *et al.*, 2001, Sant'anna *et al.*, 2011).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental adotado foi de blocos ao acaso disposto em 4 repetições e 8 tratamentos: testemunha não inoculada (T_1), inoculação com *Azospirillum brasilense* (T_2), *Azomonas macrocytogenes* (T_3), *Azotobacter beijerinckii* (T_4), *Bacillus amyloliquefasciens* (T_5), *Bacillus aryabhatai* (T_6), *Burkholderia vietnamiensis* (T_7), *Nitrospirillum amazonense* (T_8). A inoculação das bactérias foi feita via semente e posteriormente pulverizadas via foliar nos estádios V_{4-3} e V_{4-6} , na dose de 500 mL ha^{-1} com volume de calda de 250 L ha^{-1} , utilizando um pulverizador costal elétrico com pressão constante

As bactérias promotoras de crescimento utilizadas foram *Azospirillum brasilense* (Ab-V5, cepa 2083), *Azomonas macrocytogenes* (BR 10692), *Azotobacter beijerinckii* (BR 10657), *Bacillus amyloliquefasciens* (ATCC 23350), *Bacillus aryabhatai* (CBMAI 1120), *Burkholderia vietnamiensis* (BR 12311), *Nitrospirillum amazonense* (BR 11142). As espécies foram disponibilizadas pelo Centro de Recursos Biológicos Johanna Döbereiner, Coleção Brasileira de Microrganismos de Ambiente e Indústria e Laboratório de Microbiologia do Solo da UNESP/FCAV – Campus de Jaboticabal. A multiplicação das bactérias para produção do inoculante foi realizada no Laboratório de Microbiologia do Solo da UNESP/FCAV – Campus de Jaboticabal. Todos os inoculantes bacterianos apresentavam concentração mínima de 1×10^7 unidades formadoras de colônia (UFC) mL^{-1} .

3.2. ÁREA E CONDUÇÃO

O experimento foi conduzido na área experimental da Fazenda de Ensino Pesquisa e Extensão (FEPE) da UNESP/FEIS, no município de Selvíria (MS), que possui solo classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, de textura argilosa (Santos *et al.*, 2018), durante os meses de abril a agosto de 2023. O clima da região é do tipo Aw (classificação de Köppen), com precipitação média anual de 1322 mm e temperatura média anual de 23°C (Alvares, 2013).

A semeadura foi realizada em 10/05/2023 de forma mecanizada utilizando-se semeadora de precisão adequada para o sistema plantio direto.

A emergência de plântulas da cultivar IAC 1850 ocorreu no dia 18/05/2023, oito dias após a semeadura (DAS). O florescimento da cultura ocorreu 46 dias após a emergência (DAE).

O tratamento de sementes levou a utilização de Standak Top (piraclostrobina + tiofanato metílico + fipronil (5,0 + 45,0 + 50 g/100 kg de sementes)) e após secagem, foram inoculadas com seus respectivos tratamentos.

O cultivar de feijão utilizada foi o IAC-1850 apresentado plantas com hábito de crescimento tipo II e grãos tipo carioca, semeado em sistema plantio direto sobre restos culturais de milho.

A cultura foi implantada em espaçamento de 0,45 m entre linhas e as parcelas constituídas por 11 linhas de 6 m de comprimento, considerando-se como bordadura as linhas laterais da parcela e mais 1 m em ambas as extremidades de cada linha.

O controle de pragas, doenças e plantas daninhas foi realizado com inseticidas, fungicidas e herbicidas recomendados para o feijoeiro, da seguinte forma:

Tabela 1. Data, produto, concentração, princípio ativo e calda das aplicações de inseticidas e fungicidas no experimento. Selvíria (MS), 2023.

Data	Nome Comercial	Concentração	Princípio Ativo	Calda (L)
28/05/2023	Podium	0,75 L/ha	Fenoxaprope-p-etílico (110 g/L)	100
	Sperto	300 g/ha	Acetamiprido (250 g/kg) + Bifentrina (250 g/kg)	
	Agral	50 mL/ha	Nonil fenoxi poli (etilenoxi) etanol (200 g/L)	
02/06/2023	Verdict Max	100 mL/ha	Haloxifope metílico (540 g/L) + Dietileno glicol monoetil éter (531 g/L)	100
	Privilege	250 mL/ha	Acetamiprido (200 g/L) + Piriproxifem (100 g/L)	
	Agral	50 mL/ha	Nonil fenoxi poli (etilenoxi) etanol (200 g/L)	
28/06/2023	Sialex	1,5 kg/ha	Procimidona (500 g/kg)	100
	Penncozeb WG	2 kg/ha	Mancozebe (750 g/kg)	
	Sperto	300 g/ha	Acetamiprido (250 g/kg) + Bifentrina (250 g/kg)	
	Premio	50 mL/ha	Clorantianiliprole (200 g/L)	

A adubação mineral nos sulcos na semeadura foi feita com o formulado 300 kg ha⁻¹ de 08-28-16 (NPK). A adubação de cobertura foi realizada de forma parcelada, com a primeira aplicação ocorrendo no dia 06/06/2023 (19 DAE) com 33 kg ha⁻¹ de N, tendo como fonte o sulfato de amônio e 34 kg ha⁻¹ de K₂O, tendo como fonte o KCl. A segunda adubação de cobertura foi realizada no dia 18/06/2023 (31 DAE), sendo aplicados 66 kg ha⁻¹ de N tendo como fonte a ureia, totalizando 100 kg ha⁻¹ de N aplicados. Ambas as formulações foram calculadas e ofertadas de acordo com as características químicas do solo e levando-se em consideração as recomendações de Wutke *et al.*, (2022).

O fornecimento de água para a cultura foi realizado por um sistema fixo de irrigação do tipo aspersão com precipitação média de 15 mm hora⁻¹ nos aspersores.

A colheita do experimento ocorreu no dia 11/08/2023, com 85 dias após o plantio (DAP), totalizando um ciclo de produção de 93 dias.

3.3. AVALIAÇÕES

- **Índice de clorofila foliar (ICF):** leituras de 10 plantas no estágio R6 por parcela (uma folha completamente desenvolvida por planta) com o ClorofiLOG® (CFL 1030);

- **Teor de nitrogênio e fósforo foliar:** foram coletadas 10 folhas diagnose por parcela e analisadas segundo metodologia de Malavolta, Vitti e Oliveira (1997);

- **Massa seca da parte aérea (MSPA):** foram coletadas 10 plantas por parcela no estágio R6 que foram secas em estufa à 65°C por 72 horas, para pesagem e cálculo da MSPA em g planta⁻¹;

- **Número de vagens por planta, de grãos por planta e de grãos por vagem:** foram coletadas por ocasião da colheita, 10 plantas de cada parcela para a avaliação de número de vagens por planta (relação do número total de vagens/número de plantas); número de grãos por planta (relação do número total de grãos/número de plantas) e número médio de grãos por vagem (relação do número total de grãos/número total de vagens);

- **Massa de 100 grãos:** contagem e pesagem de duas amostras de 100 grãos por parcela, e corrigidos para 13% de umidade - base úmida (b.u.);

- **População final de plantas:** o número de plantas foi determinado em duas linhas da área útil da parcela e, com esse valor, foi estimado a população final de plantas ha⁻¹;

- **Produtividade de grãos:** foram colhidas manualmente as plantas contidas de duas linhas de quatro metros, que foram secas a pleno sol, trilhadas para realizar a pesagem e determinação de umidade dos grãos colhidos, para cálculo da produtividade (13% b.u.).

3.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Na análise estatística os dados foram submetidos ao Teste F da Análise de Variância. Para avaliar os efeitos das inoculações, as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% probabilidade. As análises estatísticas foram processadas utilizando-se o programa de análise estatística SISVAR (Ferreira, 2000).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 podemos observar os resultados referentes às variáveis Matéria Seca da Parte Aérea (MSPA), Índice de Clorofila Foliar (ICF), nitrogênio (N) e fósforo (P). Verifica-se que a massa seca da parte aérea, não foi influenciada pelas inoculações. Para as variáveis índice de clorofila foliar e os teores de N e P foliares, também não houve diferenças entre os tratamentos.

Tabela 2. Valores do acúmulo de Massa Seca da Parte Aérea (MSPA), Índice de Clorofila Foliar (ICF), nitrogênio (N) e fósforo (P), no estágio de florescimento do feijão, em função da inoculação com bactérias. Selvíria (MS), 2023.

Tratamentos	MSPA g planta ⁻¹	ICF -	N g kg ⁻¹	P g kg ⁻¹
Testemunha	12,82	43,63	49,00	3,92
<i>Azospirillum brasilense</i>	14,55	43,16	48,77	4,13
<i>Azomonas macrocytogenes</i>	13,46	42,33	47,86	4,40
<i>Azotobacter beijerinckii</i>	14,02	43,44	51,87	4,34
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	15,44	40,50	44,87	3,58
<i>Bacillus aryabhattai</i>	13,21	42,59	47,34	4,36
<i>Burkholderia vietnamiensis</i>	17,95	43,34	50,82	3,79
<i>Nitrospirillum amazonense</i>	12,70	42,92	46,88	3,70
ANAVA	1.25 ^{ns}	1.71 ^{ns}	1.24 ^{ns}	1.02 ^{ns}
Média Geral	14,27	42,74	48,42	4,03
CV (%)	21.90	3.60	7.14	13.80

CV %: Coeficiente de Variação. ns: não significativo.

Mesmo os resultados da análise estatística não apresentando diferença significativa entre os tratamentos, a maior quantidade de matéria seca produzida (em termos numéricos e não em termos estatísticos) foi encontrado no tratamento inoculado com a bactéria *Burkholderia vietnamiensis*, com 17,95 g planta⁻¹. Vandamme *et al.* (2002) relatam que as bactérias diazotróficas do gênero *Burkholderia*, são encontradas em associação com leguminosas, participando da formação dos nódulos através da maior absorção de nitrogênio. O que explica os altos teores de ICF e N e consequentemente, a maior quantidade de MSPA no tratamento inoculado com *Burkholderia vietnamiensis*, já que em presença de teores adequados de N, há maior produção de clorofila e fotoassimilados, que garantem a planta desenvolvimento pleno de sua arquitetura foliar e produção de massa seca.

A Tabela 3 mostra as variáveis vagens por planta, grãos por planta e grãos por vagem para a cultura do feijão inoculada com as bactérias.

A variável grãos por vagem não apresenta diferença estatística entre os tratamentos, com média geral de 5,14 grãos por vagem.

Os tratamentos: testemunha, inoculados com *Azotobacter beijerinckii*, *Bacillus amyloliquefaciens* e *Nitrospirillum amazonense*, apresentaram o menor número de vagens por planta.

Tabela 3. Valores de vagens por planta, grãos por planta e grãos por vagem, em função da inoculação com bactérias. Selvíria (MS), 2023.

Tratamentos	Vagens por Planta	Grãos por Planta	Grãos por Vagem
Testemunha	18,63 b	92,78 b	4,98
<i>Azospirillum brasilense</i>	22,05 a	117,23 a	5,33
<i>Azomonas macrocytogenes</i>	22,71 a	114,14 a	5,01
<i>Azotobacter beijerinckii</i>	19,43 b	98,64 b	5,08
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	17,51 b	91,22 b	5,19
<i>Bacillus aryabhattai</i>	21,55 a	113,99 a	5,31
<i>Burkholderia vietnamiensis</i>	26,16 a	136,15 a	5,21
<i>Nitrospirillum amazonense</i>	17,04 b	84,65 b	4,96
ANAVA	3.44*	4.06**	2.2 ^{ns}
Média Geral	20,64	106,1	5,14
CV (%)	16.02	16.08	3.84

Valores seguidos por letras diferentes, distinguem entre si pelo Teste de Scott-Knott (5%);

CV (%), *, **, ns: Coeficiente de Variação, 5% de significância, 1% de significância, não significativo, respectivamente.

Observa-se que o tratamento com número de vagens por planta, inoculado com *Burkholderia vietnamiensis*, apresentou 26,16 vagens por planta, mas não diferiu estatisticamente em relação aos tratamentos inoculados com *Azospirillum brasilense* (22,05 vagens por planta), *Azomonas macrocytogenes* (22,71 vagens por planta) e *Bacillus aryabhattai* (21,55 vagens por planta). O mesmo tratamento com *B. vietnamiensis* apresentou diferença de 28,8% quando comparado ao tratamento testemunha.

Os tratamentos que apresentaram maior e menor valor, na variável grãos por vagem, são os mesmos para a variável vagens por planta, visto que as variáveis possuem relação

diretamente proporcional, pois quanto mais vagens na planta, maior o número de grãos por planta.

O tratamento inoculado com a bactéria *Azospirillum brasilense* (que já é produto inoculante comercial para a cultura do feijão) apresentou uma diferença de 7,03% quando comparado com o tratamento testemunha, em relação aos valores de grãos por vagem.

A Tabela 4 mostra a população final de plantas, massa de cem grãos e produtividade. Numericamente, o tratamento com maior população final foi o inoculado com a bactéria *Azotobacter beijerinckii* e o maior valor de massa de cem grãos foi verificada no tratamento inoculado com a bactéria *Burkholderia vietnamiensis* com 23,36 gramas. Porém estatisticamente, os valores não foram significativos, ou seja, não distinguiram entre si.

Tabela 4. Valores de população final, massa de cem grãos e produtividade da cultivar IAC-1850 em função da inoculação com bactérias. Selvíria (MS), 2023.

Tratamentos	População Final	Massa Cem Grãos	Produtividade
	plantas ha ⁻¹	g	kg ha ⁻¹
Testemunha	200.926	21,89	3.087
<i>Azospirillum brasilense</i>	183.068	22,47	3.230
<i>Azomonas macrocytogenes</i>	179.672	22,53	3.321
<i>Azotobacter beijerinckii</i>	201.852	21,43	3.151
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	179.630	22,35	3.347
<i>Bacillus aryabhattai</i>	200.000	21,81	3.339
<i>Burkholderia vietnamiensis</i>	186.499	23,36	3.551
<i>Nitrospirillum amazonense</i>	196.333	22,28	3.549
ANAVA	1.45 ^{ns}	1.44 ^{ns}	1.13 ^{ns}
Média Geral	190.997	22,27	3.322
CV (%)	8.49	4.35	9.51

CV %: Coeficiente de Variação; ns: não significativo.

Pode-se observar que, numericamente, todas as inoculações obtiveram valores de produtividade superiores quando comparado ao tratamento testemunha, porém os valores não foram significativos estatisticamente entre os tratamentos e a média geral de produtividade ficou em 3322 kg ha⁻¹.

Da Silva (2024) encontrou resultados positivos para a inoculação de *Bacillus aryabhattai* no feijão, onde obteve a maior produtividade em kg ha⁻¹ e a maior massa de mil grãos.

5. CONCLUSÃO

Ao final do trabalho, pode-se concluir que as inoculações com as bactérias *Azospirillum brasilense*, *Azomonas macrocytogenes*, *Bacillus aryabhattai*, e *Burkholderia vietnamiensis*, promoveram acréscimos na quantidade de vagens por planta, grãos por planta. Com destaque para *B. vietnamiensis* que numericamente se mostrou superior nas avaliações de massa de cem grãos e na produtividade.

No geral, as inoculações com bactérias apresentaram resultado positivo de acréscimo dos componentes de produção, porém estatisticamente não influenciaram a produtividade quando comparada ao tratamento testemunha e nem da inoculação com *Azospirillum brasilense*, que já é produto comercial para a cultura.

Há espaço para novos testes a fim de encontrar resultados mais concretos no que diz respeito ao incremento de produção dessas bactérias.

6. REFERÊNCIAS

- ARAUJO, J. C. de. **Avaliação de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) para o sistema orgânico de produção**. 2008. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- BOLETA, G. H. M. Coinoculações de bactérias promotoras do crescimento de plantas para incrementar a nutrição e a produtividade da cultura da soja no cerrado. 2023.
- CABALLERO-MELLADO, J. Microbiología agrícola e interacciones microbianas con plantas. **Revista latinoamericana de Microbiología**, v. 48, n. 2, p. 154-161, 2006.
- DE SOUSA CASSETARI, Alice. Fixação biológica de nitrogênio em cana-de-açúcar inoculada com bactérias diazotróficas. 2014.
- CAVALCANTE, H. S. Produção de milho-verde ‘P3858PWU’ inoculado com *Bacillus licheniformis* e *Bacillus amyloliquefaciens* no Cerrado Maranhense. 2022.
- CUNHA, I. C. M. **Efeito da inoculação de bactérias no microbioma da rizosfera de feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) e na promoção de crescimento**. 2023. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- DOS SANTOS DIAS, A.; SANTOS, C. C. Bactérias promotoras de crescimento de plantas: conceitos e potencial de uso.
- INTHAMA, P., *et al.* Bactéria promotora do crescimento de plantas e da tolerância à seca para biorremediação de resíduos de pesticidas paraquate em solos agrícolas. **Frontiers in Microbiology**, v. 12, p. 604662, 2021.
- LAVALLE, L. P.; ANILLO, H. J. B.; PÉREZ, A. D. Biofertilizantes en Colombia. **Una opción empresarial para cultivadores de frutas y hortalizas**.
- LIMA, A. A. F., *et al.* Respostas fisiológicas de cultivares de feijão [*Phaseolus vulgaris* L. e *Vigna unguiculata* (L.) Walph.] submetidas à deficiência hídrica: uma alternativa para a agricultura familiar do semi-árido sergipano. 2008.
- LOZADA, L.; RIVAS, C. Evaluación del efecto de la inoculación de *Azotobacter* spp. en plantas de ají dulce (*Capsicum frutescens*). **Trabajo de grado Técnico Superior Agrícola. Universidad de los Andes, Trujillo**, 2010.

LUVIZOTTO, D. M. **Caracterização fisiológica e molecular de *Burkholderia* spp. associadas às raízes de cana-de-açúcar**. 2008. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MARIN, V. A. *et al.* Fixação biológica de nitrogênio: Bactérias fixadoras de nitrogênio de importância para a agricultura tropical [em linha]. 1999.

MASCARANHAS, L. S. Uso de inoculantes microbiológicos para otimização do crescimento e desenvolvimento de plantas de cana-de-açúcar cultivadas sob déficit hídrico. 2021.

MORENO, J. 1986. Actividad biológica de *Azotobacter* en suelo, fijación biológica de nitrógeno atmosférico y utilización de compuestos fenólicos. Tesis Doctoral. Depto. De Microbiología, Facultad de Farmacia, Universidad de Granada, España. pp: 5-20, 40-60.

ROJAS-ROJAS, F. U. *et al.* El controvertido complejo *Burkholderia cepacia*, un grupo de especies promotoras del crecimiento vegetal y patógenas de plantas, animales y humanos. **Revista argentina de microbiología**, v. 51, n. 1, p. 84-92, 2019.

SILVA, A. V. *et al.* Agronomic characteristics and yield of corn after inoculation with *Bacillus amyloliquefaciens*. **Revista Agrogeoambiental**, 2023.

SONG, S., *et al.* Mechanisms in plant–microbiome interactions: lessons from model systems. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 62, p. 102003, 2021.

SULTANA, S., *et al.* Isolation and identification of salt-tolerant plant-growth-promoting rhizobacteria and their application for rice cultivation under salt stress. **Canadian journal of microbiology**, v. 66, n. 2, p. 144-160, 2020.

TRÂN VAN, V. *et al.* Efeitos benéficos repetidos da inoculação de arroz com uma cepa de *Burkholderia vietnamiensis* nos componentes iniciais e finais da produção em solos ácidos sulfatados de baixa fertilidade do Vietnã. **Plant and Soil**, v. 218, p. 273-284, 2000.

VIEIRA, R. F.; DA SILVEIRA, A. P. D.; FERRACINI, V. L. Inoculação do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) com bactérias promotoras de crescimento de plantas. 2014.

WU, F.J.; J. MORENO; G.R. VELA. 1987. Crescimento de *Azotobacter vinelandii* em nutrientes do solo. *Appl. Environ. Microbiol* (Microbiologia aplicada e ambiental). 53:489-495

WUTKE, E. B., *et al.* Boletim 100: Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 3. ed. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas/Fundação IAC, 2022. p. 246-248

XU, H., *et al.* Endophytic bacterium *Bacillus aryabhattai* induces novel transcriptomic changes to stimulate plant growth. **PLoS One**, v. 17, n. 8, p. e0272500, 2022.

ZANETTI, W. A. L. Inoculação de *Bacillus aryabhattai* no micro-tomateiro (*Lycopersicon esculentum* cv micro-tom) submetido à déficit hídrico. 2024.

ZHOU, L. *et al.* Improved effects of combined application of nitrogen-fixing bacteria *Azotobacter beijerinckii* and microalgae *Chlorella pyrenoidosa* on wheat growth and saline-alkali soil quality. **Chemosphere**, v. 313, p. 137409, 2023.

7. APÊNDICE - FOTOS DO EXPERIMENTO

Figuras 1 e 2. Plântulas de feijão em V1.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Figura 3. Área experimental - FEPE, Selvíria (MS).



Fonte: Autoria própria, 2023.

Figuras 4 e 5. Entrelinha do feijão após adubação de cobertura.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Figura 6. Feijoeiro em V4.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Figura 7. Raízes do feijoeiro com presença de nódulos.



Fonte: Autoria própria, 2023.