

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
UNESP - CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

JOÃO PEDRO MACHADO MAGALHÃES PINTO

**INOCULAÇÃO DE MICRORGANISMOS BENÉFICOS EM CULTIVARES DE
FEIJÃO COMUM.**

Ilha Solteira – SP
Novembro de 2025

JOÃO PEDRO MACHADO MAGALHAES PINTO

**INCOCULAÇÃO DE MICRORGANISMOS BENÉFICOS EM CULTIVARES
NOVOS DE FEIJÃO COMUM.**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Universidade Estadual
Paulista (UNESP) “Júlio de
Mesquita Filho”, Ilha Solteira – SP,
para obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Agrônômica.

Orientador: Prof. Dr. Orivaldo Arf

Coorientador: Dr^a Neli Cristina
Belmiro dos Santos

Ilha Solteira – SP

Novembro de 2025

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

- M189i Magalhães Pinto, João Pedro Machado.
Inoculação de microrganismos benéficos em cultivares de feijão comum /
João Pedro Machado Magalhães Pinto. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2025
71 f. : il.
- Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) -
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira,
2025
- Orientador: Orivaldo Arf
Coorientadora: Neli Cristina Belmiro dos Santos
Inclui bibliografia
1. *Azospirillum brasilense*. 2. Brutal Plus. 3. Biofree. 4. Feijão comum. 5.
Rhizobium tropici. 6. *Bacillus subtilis*.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Ilha Solteira

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

ATA DA DEFESA – TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO: "INOCULAÇÃO DE MICRORGANISMOS BENÉFICOS EM CULTIVARES DE
FEIJÃO COMUM".

ALUNO: JOÃO PEDRO MACHADO MAGALHÃES PINTO - RA: 191050806

ORIENTADOR: ORIVALDO ARF

Aprovado (X) Reprovado () pela Comissão Examinadora com nota obtida: 10,0

Comissão Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 ORIVALDO ARF
Data: 17/12/2025 17:01:03-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Orivaldo Arf (orientador)


Dr^a Heloisa Santana Seixas

(Faculdades Integradas Stella Maris Andradina e UNESP Ilha Solteira)

Documento assinado digitalmente
 GUSTAVO PAVAN MATEUS
Data: 18/12/2025 08:43:48-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Dr. Gustavo Pavan Mateus

(Apta Andradina)

Documento assinado digitalmente
 JOAO PEDRO MACHADO MAGALHAES PINTO
Data: 19/12/2025 20:37:57-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

João Pedro Machado Magalhães Pinto

Aluno

Ilha Solteira (SP), 17 de dezembro de 2025.

DEDICATÓRIA

Dedico esse presente trabalho a toda minha família, em especial ao meu pai José Ilídio Magalhães Pinto, a minha mãe Maria Lucineia Machado Gonçalves, ao meu tio Edilson Rodrigues Machado, a minha namorada Laura Akemi Soares Yasuda, aos meus orientadores Orivaldo Arf e Neli Cristina Belmiro dos Santos. Também aproveito para dedicar aos meus amigos de república e amigos da faculdade.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, quero expressar minha gratidão a Deus pelo maior presente que é a vida, pela proteção constante que Ele me proporciona e pelo discernimento necessário para buscar meus objetivos.

Quero agradecer meus pais José Ilídio Magalhães Pinto e Maria Lucineia Machado e ao meu tio Edilson Rodrigues Machado, que são fundamentais desde sempre na minha vida, me dando todo o suporte possível e impossível, me encorajando para que eu possa realizar meus sonhos, acreditando no meu potencial desde o início.

Também gostaria de agradecer minha namorada Laura Akemi Soares Yasuda, que é minha parceira e companheira, me apoiando, me dando carinho, amor, afeto, transformando meus dias mais difíceis em algo muito mais agradável.

Venho agradecer em especial a minha coorientadora Dr^a Neli Cristina Belmiro dos Santos, que me concedeu a oportunidade de realizar esse trabalho sobre sua tutela e nos proporcionou um ambiente adequado e preparado para o acontecimento desse experimento, compartilhando seu vasto conhecimento sobre diversos assuntos, inspirando pessoas e me auxiliando em todos os momentos.

A todos os professores e em particular ao meu orientador Orivaldo Arf, que fizeram da minha graduação não só um lugar de ensinamentos acadêmicos, mas também de ensinamentos pessoais que com certeza me fizeram uma pessoa e um profissional muito melhor.

As minhas amizades conquistadas dentro e fora da faculdade, especialmente à República em que morei durante minha graduação, Samuel Vidal, Vinícius Tamboreli, João Pedro Lugli, Hugo Guedes Barreto, Allan Carvalho, Marcelo Ferreira, Guilherme Martins, Daniel Anderlini.

“Só vive o proposito quem suporta o processo” (Wladimir Moreira).

INOCULAÇÃO DE MICRORGANISMOS BENÉFICOS EM CULTIVARES NOVOS DE FEIJÃO COMUM.

João Pedro Machado Magalhães Pinto¹

Orivaldo Arf²

Neli Cristina Belmiro do Santos³

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo avaliar o desempenho fisiológico e agrônômico de diferentes cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) submetidas à inoculação com bioinsumos comerciais. O experimento foi conduzido em Andradina (SP), utilizando as cultivares IAC Sintonia, IAC 1849 e IAC 1850, em associação com os inoculantes Rhizobium, Bacillus, Biofree e Brutal Plus®, além da testemunha sem inoculação. Os resultados demonstraram efeito significativo do fator cultivar sobre a maioria das variáveis analisadas, com destaque para o IAC 1850, que apresentou os maiores valores de germinação, vigor e massa seca. Entre os inoculantes, o Rhizobium e o Brutal Plus® proporcionaram melhor desempenho no desenvolvimento inicial das plantas, evidenciando potencial na promoção do crescimento e no estabelecimento das plântulas. Observou-se ainda que a interação cultivar × inoculante foi determinante nas respostas fisiológicas, indicando que a eficiência dos bioinsumos depende da compatibilidade entre o microrganismo e o genótipo vegetal. Conclui-se que o uso de inoculantes biológicos, especialmente Rhizobium e Brutal Plus®, representa uma alternativa sustentável e eficiente para o manejo do feijoeiro comum, contribuindo para o aumento da produtividade e redução da dependência de fertilizantes químicos.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L.; bioinsumos; inoculantes; Brutal Plus; sustentabilidade agrícola; Biofree; IAC 1849; IAC 1850; sintonia; *Azospirillum brasilense*; *Bacillus subtilis*; *Rhizobium tropici*; feijão comum; bioestimulantes.

¹Graduating student in Agronomic Engineering at UNESP/FEIS

²Doctor Professor Advisor, Department of Plant Science, Food Technology and Socioeconomics, UNESP/FEIS

INOCULATION OF BENEFICIAL MICROORGANISMS IN NEW CULTIVARS OF COMMON BEAN.

João Pedro Machado Magalhães Pinto¹

Orivaldo Arf²

Neli Cristina Belmiro do Santos³

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the physiological and agronomic performance of different common bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.) subjected to inoculation with commercial bioinputs. The experiment was carried out in Andradina, São Paulo, using the cultivars IAC Sintonia, IAC 1849, and IAC 1850, combined with the inoculants Rhizobium, Bacillus, Biofree, and Brutal Plus®, as well as a non-inoculated control. The results showed a significant effect of the cultivar factor on most analyzed variables, with IAC 1850 standing out for its higher germination rate, vigor, and dry mass. Among the inoculants, Rhizobium and Brutal Plus® provided better performance in the early development of plants, demonstrating potential in promoting seedling growth and establishment. The interaction between cultivar × inoculant proved to be crucial for physiological responses, indicating that bioinput efficiency depends on the compatibility between microorganism and plant genotype. It is concluded that the use of biological inoculants, especially Rhizobium and Brutal Plus®, represents a sustainable and efficient alternative for common bean management, contributing to increased productivity and reduced dependence on chemical fertilizers.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L.; bioinputs; inoculants; Brutal Plus; agricultural sustainability; Biofree; IAC 1849; IAC 1850; Sintonia; *Azospirillum brasilense*; *Bacillus subtilis*; *Rhizobium tropici*; common bean; biostimulants.

¹Graduating student in Agronomic Engineering at UNESP/FEIS

²Doctor Professor Advisor, Department of Plant Science, Food Technology and Socioeconomics, UNESP/FEIS

LISTA DE FIGURAS

	página
Figura 01. Dosagem produtos biológicos.....	66
Figura 02. Montagem do teste de germinação.....	66
Figura 03. Sementes em estufa BOD.....	67
Figura 04. Cinco dias após semeadura.....	67
Figura 05. Primeira contagem de sementes germinadas.....	67
Figura 06. Medição do comprimento de raiz.....	68
Figura 07. Secagem em estufa.....	68
Figura 08. Sementes tratadas em gerbox.....	69
Figura 09. Semeadura em campo.....	69
Figura 10. Plantas germinadas em campo.....	69
Figura 11. Preparação dos vasos.....	70
Figura 12. Início da germinação.....	70
Figura 13. Desenvolvimento dos vasos.....	70
Figura 14. Análise de clorofila.....	70
Figura 15. Lavagem das raízes.....	71
Figura 16. Raízes pós lavagem.....	71

LISTA DE TABELAS

	página
Tabela 01. Atributos químicos do solo na área experimental, na profundidade de 0-20 cm. Andradina (SP), Brasil (2023).....	32
Tabela 02. Valores médios obtidos para germinação, primeira contagem (vigor) e plântulas anormais de cultivares de feijão, em função de inoculantes. Andradina (SP), 2023.....	34
Tabela 03. Valores médios obtidos para comprimento de raiz e massa seca de plântulas de cultivares de feijão, em função de inoculantes. Andradina (SP), 2023.....	35
Tabela 04. Desdobramento das interações significativas entre cultivares e inoculantes para massa seca de plântula de cultivares de feijão. Andradina (SP), 2023.....	36
Tabela 05. Valores médios obtidos para envelhecimento acelerado e emergência em campo de cultivares de feijão, em função de inoculantes. Andradina (SP), 2023.....	38
Tabela 06. Valores médios obtidos para massa úmida e seca de parte aérea de plantas de feijão cultivadas em vasos, em função de inoculantes. Andradina (SP), 2023.....	40
Tabela 07. Desdobramento das interações significativas entre cultivares e inoculantes para Massa úmida da parte área de cultivares de feijão. Andradina (SP), 2023.....	41
Tabela 08. Desdobramento das interações significativas entre cultivares e inoculantes para Massa seca da parte área de cultivares de feijão. Andradina (SP), 2023.....	43
Tabela 09. Valores médios obtidos para massa úmida e seca de raízes de plantas de feijão em vasos, em função de inoculantes. Andradina (SP), 2023.....	44
Tabela 10. Desdobramento das interações significativas entre cultivares e inoculantes para massa úmida de raízes de cultivares de feijão em função de inoculantes. Andradina (SP), 2023.....	46
Tabela 11. Valores médios obtidos para teor de clorofila de cultivares de feijão cultivados em vasos, em função de inoculantes. Andradina (SP), 2023.....	48

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1 Cultura do Feijão	17
2.2 Adubação do feijoeiro.....	19
2.3 Bactérias promotoras do crescimento de plantas e coinoculação	20
2.3.1 <i>Azospirillum brasilense</i>	21
2.3.2 <i>Bacillus subtilis</i>	23
2.3.3 <i>Rhizobium tropici</i>	24
2.4 Cultivares	25
3. METODOLOGIA	27
3.1 Área Experimental	27
3.2 Descrição de tratamentos e parcela experimental.....	27
3.3 Avaliações realizadas.....	29
3.3.1 Qualidade fisiológica das sementes	29
3.3.2 Avaliação do desenvolvimento das plantas em vasos	32
3.4 Análises estatísticas	33
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5. CONCLUSÕES.....	50
6. REFERÊNCIAS	51
7. ANEXO	66

1. INTRODUÇÃO

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) tem um papel significativo na vida dos brasileiros e isto não está somente no fato de nosso país ser o maior produtor e consumidor mundial (Depec, 2017). Mas também por ser o feijão a principal leguminosa fornecedora de proteínas, fazendo parte da dieta diária das classes socioeconômicas menos favorecidas, além de ser uma excelente fonte de ferro e carboidratos e outros nutrientes essenciais a vida (Antunes *et al.*, 1995; Mechi, Caniattibrazaca; Arthur, 2005). Ressaltando assim a sua importância na segurança alimentar e nutrição humana (Barbosa e Gonzaga, 2012).

Com tudo, sabe-se que de maneira geral os solos brasileiros apresentam-se com baixas concentrações de nutrientes e que a cultura do feijão exige do solo quantidades significativas para o seu desenvolvimento, principalmente do nitrogênio. Sendo ele o responsável por desempenhar papel fundamental na estruturação de compostos e funções metabólicas das plantas (Braga; Yamada, 1984; Bulisani, 1987). No caso do feijoeiro, é o nutriente mais absorvido e praticamente necessário durante todo o ciclo da cultura, a demanda máxima ocorre entre os 35 e 50 dias após a emergência da planta, coincidindo com o período de florescimento, quando a absorção de nitrogênio atinge seu pico. (Rosalem Marubayashi, 1994).

As principais fontes de nitrogênio para o feijoeiro incluem o solo, através da decomposição da matéria orgânica, a aplicação de fertilizantes nitrogenados e a fixação biológica de N₂ atmosférico por meio da associação com bactérias do grupo *Rhizobium* (Hungria *et al.*, 1997; Mercante *et al.*, 1999). No entanto, o uso de fertilizantes nitrogenados em solos tropicais possui um custo econômico elevado e implica em custos ecológicos adicionais. Estima-se que cerca de 50% do nitrogênio aplicado seja perdido, principalmente devido à lixiviação na forma de nitrato e ao escoamento superficial causado por chuvas e/ou irrigação (Straliotto *et al.*, 2002). Essas perdas de nitrogênio são altamente poluentes e, quando carregadas para os lençóis freáticos, podem contaminar aquíferos subterrâneos, rios e lagos. Além disso, ocorrem perdas de nitrogênio na forma gasosa, por meio dos processos de desnitrificação e volatilização, retornando para a atmosfera (Siqueira *et al.*, 1994; Straliotto *et al.*, 2002). Essas perdas de nitrogênio representam um desafio significativo em termos de sustentabilidade ambiental e econômica da produção de feijão, destacando a importância de abordagens e práticas que visem otimizar a eficiência da absorção e utilização do nitrogênio pela cultura.

No entanto, o feijoeiro, assim como outras leguminosas, possui uma vantagem significativa ao estabelecer uma associação simbiótica com bactérias do gênero *Rhizobium*. Essas bactérias têm a capacidade de formar nódulos nas raízes, onde capturam o nitrogênio atmosférico e o transformam em amônia, uma forma de nitrogênio que pode ser utilizada pela planta (Mercante *et al.*, 1992). Esse processo é conhecido como fixação biológica de nitrogênio e é capaz de fornecer, pelo menos parcialmente, o nitrogênio necessário para a cultura. Essa associação tem o potencial de substituir, em parte, a adubação nitrogenada, resultando na redução dos custos associados à fertilização nitrogenada e aumentando a produtividade e sustentabilidade.

As bactérias promotoras de crescimento de plantas são microrganismos benéficos que têm a capacidade de colonizar diferentes partes das plantas, como a superfície das raízes, rizosfera, filosfera e tecidos internos (Davison, 1988; Kloepper *et al.*, 1989). Hungria (2011) destacou que essas bactérias estimulam o crescimento das plantas de várias maneiras, sendo as mais relevantes: fixação biológica de nitrogênio, aumento da atividade da redutase do nitrato quando crescem dentro das plantas, produção de hormônios vegetais, como auxinas, citocininas, giberelinas e etileno, além de outras moléculas benéficas. Essas bactérias também podem solubilizar fosfato e atuar como agentes de controle biológico de patógenos. De forma geral, todos esses fatores atuam em conjunto para promover o crescimento e desenvolvimento da cultura.

Portanto, a associação simbiótica com bactérias do gênero *Rhizobium* e o uso de bactérias promotoras de crescimento de plantas são estratégias benéficas que podem melhorar o desempenho do feijoeiro, fornecendo nutrientes essenciais, aumentando a resistência a patógenos e estimulando o crescimento das plantas.

Este estudo tem como objetivo avaliar a influência do tratamento de sementes com inoculantes no desenvolvimento agrônomo das cultivares IAC 1850, IAC 1849 e Sintonia, destacando sua relevância para a produtividade, a economia e a sustentabilidade do processo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cultura do Feijão

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma leguminosa da família Fabaceae/Leguminosae, subfamília Faboideae, pertencente ao gênero *Phaseolus*. Este gênero inclui aproximadamente 55 espécies, das quais apenas cinco são cultivadas comercialmente (Santos; Gavilanes, 2006). O feijão comum é a espécie mais proeminente do gênero, sendo a mais antiga e amplamente cultivada nos cinco continentes. (Comissão estadual de pesquisa de feijão – CEPEF, 2001).

De acordo com Debouck (1991), as Américas Central e do Sul foram os locais da evolução e diversificação do feijão comum. No entanto, existem questões sobre a localização exata do processo (Gepts; Debouck, 1991). Os grãos apresentaram uma grande variação em características como cores, formas e tamanhos nesses centros (Gepts; Debouck, 1991). Contudo, grande parte dessa variabilidade genética, preservada e ampliada pela agricultura familiar, está sendo perdida devido à substituição das variedades locais por cultivares comerciais (Rodrigues *et al.*, 2002).

Esta leguminosa é considerado um símbolo de vida e é cultivado desde a antiguidade humana (Embrapa, 2010). No Brasil, essa cultura é muito importante na alimentação, principalmente por ser a principal fonte de proteína da população de baixa renda. Portanto, embora tenha havido uma grande quantidade de pesquisas sobre o feijão, esta leguminosa continua sendo foco de investigações (Mesquita *et al.*, 2007). Além de ser um excelente alimento, conter proteínas, também fornece nutrientes essenciais ao corpo humano como carboidratos, fibras, cálcio, ferro, magnésio, zinco e vitaminas, principalmente vitamina B.

Morfologicamente, as leguminosas são plantas com caules herbáceos, sendo este o eixo principal e seus nós são os pontos de inserção das folhas de onde emergem os ramos. Possui dois tipos de folhas, simples e compostas. As únicas folhas simples são as folhas primárias, já presentes no embrião. As demais folhas são trifolioladas, formadas por três folíolos ovais. As flores são compostas por cinco pétalas, que podem ser brancas, rosadas ou roxas dependendo da variedade do feijão, e estão agrupadas. O fruto, chamado de vagem, pode ou não ter coloração uniforme, ou seja, pode apresentar listras de outra cor, e variar conforme o grau de maturação. Quando maduro e suficientemente seco, abre-se liberando os grãos (Ferreira Filho, 1941).

O feijão carioca é considerado um dos tipos mais consumidos, tendo como características marcantes tegumento com coloração bege e estrias marrons, hilo branco, apresentando ao redor halo de coloração creme. As sementes têm forma oblonga, com média de 0,9 cm de comprimento, 0,6 cm de largura e 0,5 cm de espessura (Almeida; Leitão Filho; Miyasaka, 1971).

Os estádios de desenvolvimento do feijão são bem definidos, sendo eles, vegetativos e reprodutivos. Onde o primeiro estágio ocorre de V_0 a V_4 , e os estádios reprodutivos vão do R_5 ao R_9 . No estágio V_4 termina-se o ciclo com o surgimento dos botões florais. Em R_5 , os ramos secundários estão se desenvolvendo e em seguida há o surgimento dos primeiros botões florais, tendo seu término com início do florescimento (Oliveira *et al.*, 2018).

Na perspectiva socioeconômica, o feijão é um produto agrícola de importância significativa Brasil, visto que, seu cultivo se dá por pequenos à grandes produtores, em sistemas de produção diversos e em todas as regiões do país (Lemes *et al.*, 2011). Com isso, durante o seu ciclo ele necessita de vasta mão de obra de forma direta e indireta para sua produção (Benin *et al.*, 2002), empregando e gerando renda para muitas pessoas (Elsadr, 2011).

A capacidade de realizar três safras anuais a torna bastante atrativa e a torna uma cultura atípica. A primeira safra, ou safra "das águas", é semeada no sul, sudeste, centro-oeste e nos estados da Bahia, Ceará, Rio Grande do Norte, Rondônia e Tocantins de agosto a novembro. Já a segunda safra, também conhecida como safra "da seca" corre nas regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e em algumas regiões no Norte, e é semeada entre os meses de dezembro a abril. E a última safra (3ª), também chamada de safra irrigada ou "de inverno", tem semeadura entre os meses de abril a julho, no Centro-Sul do Brasil (Embrapa arroz e feijão, 2012).

O Brasil ocupa a terceira posição como maior produtor de feijão, superado apenas pela Índia e Myanmar (Food and agriculture organization – FAO, 2012). Contudo, mesmo se destacando entre os países produtores, o Brasil apresenta uma produtividade baixa quando comparada a produção por área. Além do ataque de pragas e doenças, cultivo em solos de baixa fertilidade (Ferreira, 2017), os avanços tecnológicos obtidos pela pesquisa são adotados de forma parcial pelos produtores, não se obtendo o impacto desejável (Ribeiro; del peloso, 2009).

Diagnósticos realizados em importantes áreas produtoras de leguminosas do Brasil indicam a necessidade de alinhar seu cultivo às necessidades econômicas (Barbosa *et al.*, 2010),

uma vez que a maior parte das leguminosas produzidas no Brasil provém do cultivo familiar (aproximadamente 60% da produção nacional) , o setor utiliza poucos insumos, adota tecnologias inferiores e carece de assistência técnica devido à baixa especialização (Comissão técnica sul-brasileira de feijão – CTSBF, 2012).

Portanto, dada a importância das culturas de leguminosas a nível nacional, estratégias que proporcionem uma agricultura mais sustentável do ponto de vista ecológico, económico e social podem melhorar o cultivo dessa leguminosas no país.

2.2 Adubação do feijoeiro

Considera-se que as leguminosas têm altas necessidades nutricionais devido ao seu sistema radicular pequeno e superficial e aos ciclos de crescimento curtos.

O nitrogênio é muito importante para as leguminosas porque esse nutriente faz parte da composição das proteínas. A deficiência de nitrogênio nas leguminosas comuns se manifesta pela clorose das folhas velhas e pequenas e pela queda prematura.

Quanto ao fósforo, as leguminosas apresentaram resposta à aplicação de fósforo na grande maioria dos experimentos. Sua deficiência faz com que os folhetos novos sejam verde-azulados e de cor opaca, enquanto os folhetos mais velhos apresentam uma cor verde mais clara.

Rosolem e Marubayashi (1994) ainda afirmaram que embora não tenha sido observada resposta à aplicação de potássio, a importância dos fertilizantes potássicos está aumentando com o aumento do uso do solo e o consequente esgotamento deste nutriente. Sua deficiência faz com que as margens dos folíolos das folhas mais velhas se tornem cloróticas e eventualmente necróticas, além de reduzir o tamanho da planta.

Uma das formas de se aumentar a produtividades das culturas seria a nutrição adequada. Os microrganismos dos solos possuem papel crucial no ciclo biogeoquímico dos minerais e na sua biodisponibilidade para as plantas cultivadas (Carneiro *et al.*, 2004). Essa comunidade microbiana é amplamente reconhecida por sua capacidade de realizar transformações bioquímicas dos nutrientes, disponibilizando elementos essenciais para as plantas, especialmente nitrogênio (N), fósforo (P) e enxofre (S) (Paul; Clark, 1989).

Destaca-se as bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs) (Moreira; Siqueira, 2006), um grupo de microrganismos que estabelece interações benéficas com as plantas, influenciando seu metabolismo e potencializando a produtividade vegetal

2.3 Bactérias promotoras do crescimento de plantas e coinoculação

Uma das alternativas para atender às demandas da agricultura moderna, que busca tecnologias com maior enfoque ecológico (Santos *et al.*, 2016), é a inoculação de sementes com bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCPs) (Zucareli *et al.*, 2011).

O termo BPCP foi introduzido no final da década de 1970 por Kloepper e Schroth, referindo-se a bactérias naturalmente presentes no solo, capazes de colonizar a rizosfera, a filosfera ou até mesmo os tecidos internos das plantas (Davison, 1988; Kloepper; Lifshitz; Zablotowicz, 1989), e estimular seu crescimento (Alina; Constantescu; Petruta, 2015).

De modo geral, acredita-se que as BPCPs promovem o crescimento vegetal por meio de uma combinação de diversos mecanismos (Dobbelaere; Vanderleyden; Okon, 2003). Entre eles, destacam-se a fixação biológica de nitrogênio (FBN) (Huergo *et al.*, 2008, citado por Hungria, 2011), a produção de fitormônios como auxinas, citocininas (Tien; Gaskins; Hubbell, 1979), giberelinas (Bottini *et al.*, 1989) e etileno (Strzelczyk; Kamper; LI, 1994), além da solubilização de fosfato (rodriguez *et al.*, 2004) e de outros nutrientes. Essas bactérias também atuam na mineralização de fósforo orgânico, favorecem a absorção de nutrientes (Myoungsu *et al.*, 2005) e apresentam potencial como agentes de controle biológico (Bernd *et al.*, 2014). Indiretamente, contribuem para a produção de metabólitos como antibióticos, sideróforos e ácido cianídrico, que inibem o crescimento de fitopatógenos, gerando benefícios ao desenvolvimento da planta desde a germinação até a produção de grãos (Lazaretti; Bettiol, 1997).

No entanto, a atividade desses microrganismos pode ser influenciada por diversos fatores ambientais, como o tipo de solo, os níveis de nutrientes (seja em deficiência ou em excesso), o pH, o teor de umidade, além de aspectos ligados à planta, como sua espécie e idade (Sivasakthi; Usharani; Saranraj, 2014). Para que se obtenham os maiores benefícios, como a economia no uso de fertilizantes e o aumento do crescimento vegetal, a tecnologia de inoculação baseada nas BPCPs deve ser aplicada em conjunto com doses adequadas de fertilizantes no solo (Souza; Ambrosini; Passaglia, 2015).

A agricultura do século XXI enfrenta diversos desafios, como a perda de fertilidade dos solos, a salinização de áreas agricultáveis, o uso intensivo de fertilizantes minerais e pesticidas, as condições climáticas instáveis e cada vez mais extremas, além do aumento na incidência de pragas e patógenos nas lavouras. Diante desse cenário, a tecnologia que promove

a integração entre plantas e as BPCPs surge como uma abordagem promissora para enfrentar e começar a superar essas adversidades.

O uso desses microrganismos na formulação de bioprodutos e sua aplicação no solo proporcionam benefícios diretos à produção agrícola, ao mesmo tempo em que representam uma alternativa de cultivo mais sustentável, com menor dependência de insumos químicos (Figueiredo *et al.*, 2009, citado por Lima *et al.*, 2011).

Outra estratégia promissora é a coinoculação, ou inoculação mista, que consiste na aplicação combinada de diferentes microrganismos. Essa associação promove efeitos sinérgicos, superando os resultados obtidos quando os microrganismos são utilizados de forma isolada (Ferlini, 2006; Bárbaro *et al.*, 2008), pois esses organismos interagem entre si por meio de mecanismos físicos e bioquímicos, estimulando mutuamente sua atividade (Bashan; Holguin, 1997).

2.3.1 *Azospirillum brasilense*

O gênero *Azospirillum* ganhou destaque a partir da década de 1970, quando a pesquisadora Dra. Johanna Döbereiner (1924–2000) e sua equipe na Embrapa Agrobiologia identificaram a capacidade dessas bactérias de fixar o nitrogênio atmosférico (N₂) em associação com gramíneas (Hungria, 2011; Mendes; Faria, 2013). Essas bactérias pertencem à ordem *Rhodospirillales* e à família *Rhodospirillaceae*.

Inicialmente consideradas restritas a regiões tropicais, essas bactérias, embora prefiram ambientes mais quentes, também foram encontradas em climas temperados, sendo, por isso, classificadas como cosmopolitas (Drozdowicz, 1997).

Podendo existir como organismo de vida livre ou como endófito facultativa, ou seja, possui a capacidade de colonizar os tecidos internos das plantas (Döbereiner; Pedrosa, 1987; Huergo *et al.*, 2008, citado por Hungria, 2011), estabelecendo uma associação simbiótica sem perder a habilidade de fixar o nitrogênio atmosférico.

Podem favorecer o crescimento vegetal por meio de diversos mecanismos, destacando-se a produção de fitormônios que influenciam diretamente o desenvolvimento das plantas. Esses compostos podem modificar a morfologia do sistema radicular, permitindo que as raízes explorem um volume maior de solo (Bashan; Holguin, 1997; Zaied *et al.*, 2003). Entre os hormônios produzidos por estirpes de *Azospirillum*, o ácido 3-indolacético (AIA) é o mais

comum (Crozier *et al.*, 1988), mas também há registros da produção de citocininas (Cacciarl *et al.*, 1989), giberelinas e etileno (Bottini *et al.*, 1989).

Diversos estudos relatam que *Azospirillum* estimula características como o aumento da densidade e do comprimento dos pelos radiculares, o surgimento de raízes laterais e a ampliação da superfície radicular (Okon; Labandera-Gonzales, 1994; Bárbaro *et al.*, 2008). Esse desenvolvimento radicular mais robusto contribui para maior eficiência na absorção de água e nutrientes, além de proporcionar maior tolerância a estresses ambientais, como salinidade, déficit hídrico e presença de patógenos (Correa *et al.*, 2008, citado por Hungria, 2011), resultando em plantas mais saudáveis e produtivas (Hungria, 2011).

Entretanto, é importante destacar que o sucesso da inoculação com *Azospirillum* depende da escolha adequada de estirpes que apresentem compatibilidade com a cultura em questão (Hungria, 2011). Embora ainda não haja comprovação definitiva sobre uma especificidade entre determinadas plantas e microrganismos, estudos apontam certa afinidade entre algumas bactérias e espécies vegetais (Penot *et al.*, 1992), ou até mesmo com cultivares específicas (Wani; Chandrapalaih; Dart, 1985).

No caso do feijoeiro, por exemplo, já se observou a capacidade de fixação biológica de nitrogênio (N₂) em associação com *Azospirillum*, o que reforça o potencial desse microrganismo no cultivo de leguminosas (Gitti *et al.*, 2012). A inoculação de sementes com bactérias diazotróficas em feijão pode contribuir para a redução dos custos de produção, especialmente pela menor necessidade de fertilizantes nitrogenados (Zarowni *et al.*, 2016; Hungria *et al.*, 2010).

German *et al.* (2000) relataram aumento significativo no desenvolvimento radicular de plantas de feijão comum inoculadas com *A. brasilense*, com ganhos de 95% no comprimento e 66% no peso fresco das raízes, em comparação com plantas não inoculadas.

Além disso, a coinoculação de *Azospirillum* com *Rhizobium* tem demonstrado resultados promissores. Estudos como os de Remans *et al.* (2008) e Yadegari *et al.* (2010) indicam que essa prática pode intensificar tanto a nodulação quanto o crescimento das plantas. Uma das possíveis explicações é a maior mobilidade de *Azospirillum* e sua atração por ambientes com baixa concentração de oxigênio, como a rizosfera das leguminosas (Peres, 2014). Isso sugere que *Azospirillum* pode colonizar as raízes inicialmente, favorecendo o estabelecimento posterior de *Rhizobium* por meio de um efeito de pré-condicionamento (Okon; Itzigsohn, 1995).

2.3.2 *Bacillus subtilis*

Bacillus subtilis, pertencente à ordem Eubacteria e à família *Bacillaceae*, é uma bactéria Gram-positiva amplamente estudada (Fritze, 2004). Sua parede celular retém a coloração violeta após a aplicação do corante cristal violeta, mesmo após o processo de descoloração, característica típica das bactérias Gram-positivas.

Esses microrganismos são notáveis por sua resistência a condições ambientais extremas, uma vez que são capazes de formar esporos altamente tolerantes a variações de temperatura, pH, desidratação, radiação UV e à presença de defensivos agrícolas e fertilizantes (Driks, 2004; Piggot; Hilbert, 2004).

Ecologicamente, *B. subtilis* é comumente encontrado no solo, seu habitat natural, onde pode ser isolado com facilidade (Oliveira, 2006). Sua presença em diferentes ambientes se deve à habilidade de formar endósporos como estratégia de sobrevivência diante de escassez de nutrientes e outros estresses ambientais (Sonenshein; Hock; Losick, 2002).

Na rizosfera, essas bactérias estão entre as mais predominantes e contribuem significativamente para o crescimento vegetal (Saharan, 2011). Seus mecanismos de ação incluem a produção de fitormônios (Datta; Banik; Gupta, 1982), sideróforos, substâncias que facilitam a captação de ferro (Fe) e antibióticos (Harman *et al.*, 2004), e a ativação de defesas naturais das plantas contra patógenos (Ramamoorthy *et al.*, 2001). Além disso, *B. subtilis* pode acelerar a germinação e o desenvolvimento inicial das plantas, permitindo que atinjam rapidamente o estágio adulto. Isso reduz o tempo de exposição no campo e contribui para que as plântulas escapem de agentes patogênicos do solo e do ambiente (Oliveira, 2006).

Além dos efeitos já citados, *Bacillus subtilis* também contribui para o aumento da fixação biológica de nitrogênio (FBN), facilita a solubilização de fosfatos (Govindasamy *et al.*, 2010), melhora as propriedades do solo (Oliveira, 2006), e induz respostas fisiológicas na planta que aumentam a sensibilidade do sistema radicular ao ambiente, otimizando a absorção de nutrientes (Manjula; Podile, 2005).

A interação entre rizóbios e *Bacillus* tem potencial para intensificar a simbiose em leguminosas, promovendo maior eficiência na FBN. Essa associação pode também estimular a formação de nódulos e tornar os rizóbios mais competitivos na rizosfera, em função dos

múltiplos efeitos benéficos proporcionados por *Bacillus* (LI; Alexander, 1988; Araújo *et al.*, 2009).

De forma geral, o desempenho de *B. subtilis* como promotora do crescimento vegetal está diretamente relacionado às suas propriedades biológicas. Sua eficácia em diferentes condições ambientais, aliada à facilidade de manipulação em formulações biológicas, torna esse microrganismo uma alternativa promissora para aplicações agrícolas (Lanna Filho; Ferro; DE Pinho, 2010).

Por fim, a utilização de bactérias promotoras de crescimento que não pertencem ao gênero *Rhizobium* pode representar uma estratégia eficiente para elevar a produtividade de culturas como o feijão (Cerqueira *et al.*, 2015).

2.3.3 *Rhizobium tropici*

As bactérias do gênero *Rhizobium*, pertencentes à ordem *Rhizobiales* e à família *Rhizobiaceae*, estabelecem relações simbióticas com plantas leguminosas, colonizando suas raízes e formando estruturas especializadas chamadas nódulos. Nestes, ocorre a fixação biológica do nitrogênio atmosférico (N₂), um processo fundamental para a sustentabilidade agrícola, pois reduz a necessidade de fertilizantes químicos e contribui para a conservação ambiental (Hungria; Vargas, 2000).

A eficiência da FBN está diretamente relacionada à escolha adequada da espécie e da estirpe de *Rhizobium*, já que diferentes linhagens podem responder de forma distinta a condições ambientais, como temperatura. Estudos mostram que estirpes de *Rhizobium tropici* apresentam maior tolerância a altas temperaturas em comparação às de *Rhizobium leguminosarum* (Raposeiras *et al.*, 1998; Oliveira *et al.*, 1998). No entanto, vale destacar que, embora muitos rizóbios possuam elevada capacidade de formar nódulos, nem todos são igualmente eficazes na fixação de nitrogênio (Moreira; Siqueira, 2006).

No caso do feijoeiro, assim como ocorre em outras leguminosas, a simbiose com *Rhizobium* pode representar uma importante estratégia para reduzir a aplicação de fertilizantes nitrogenados. Essa cultura é considerada promíscua em termos simbióticos, ou seja, é capaz de interagir com diversas espécies de rizóbios, o que amplia suas possibilidades de associação benéfica (Moreira *et al.*, 2006).

A interação entre o feijoeiro e bactérias fixadoras de nitrogênio é influenciada por diversos fatores ambientais e biológicos do solo, como a população de microrganismos nativos, variações de temperatura, acidez do solo e disponibilidade de nitrogênio (Moura *et al.*, 2009). Esses elementos podem interferir significativamente na eficácia das estirpes inoculadas.

Embora a inoculação do feijoeiro represente uma alternativa promissora para reduzir, ainda que parcialmente, o uso de fertilizantes nitrogenados, essa prática ainda é pouco difundida entre os produtores. A limitação está relacionada à necessidade de mais estudos que considerem diferentes condições de solo, clima e manejo agrícola, a fim de adaptar e validar essa tecnologia para as principais regiões produtoras (Moura *et al.*, 2009).

Nos últimos anos, entretanto, tem-se observado um avanço significativo no uso de *Rhizobium tropici* na cultura do feijão no Brasil, refletindo o crescente interesse pela adoção de práticas mais sustentáveis na agricultura.

2.4 Cultivares

A busca por cultivares adaptadas a diferentes condições edafoclimáticas e com maior potencial produtivo tem sido prioridade nos programas de melhoramento genético, destacando-se as cultivares desenvolvidas pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), como IAC 1850, IAC 1849 e Sintonia (IAC, 2021).

A cultivar IAC 1850 é reconhecida pelo elevado potencial produtivo e pela boa qualidade de grãos, apresentando ciclo semiprecoce e resistência a doenças como antracnose e mosaico comum (Ferreira *et al.*, 2019). Estudos indicam que essa cultivar apresenta excelente desempenho fisiológico, com alta taxa de germinação e vigor, além de boa resposta à inoculação com rizóbio, favorecendo a fixação biológica de nitrogênio (Souza; Melo; Barbosa, 2021).

Já a IAC 1849 destaca-se pela estabilidade produtiva e adaptabilidade a diferentes regiões, sendo indicada para sistemas de cultivo convencional e sustentável (Carvalho *et al.*, 2020). Pesquisas apontam que essa cultivar apresenta bom equilíbrio entre produtividade e qualidade tecnológica, com grãos de coloração uniforme e boa aceitação comercial (Martins; Oliveira, 2022).

Por sua vez, a cultivar Sintonia foi desenvolvida com foco em resistência a estresses bióticos e abióticos, apresentando ciclo intermediário e características que favorecem a manutenção da qualidade fisiológica das sementes mesmo em condições adversas (Gonçalves; Pereira, 2018). Embora seu desempenho produtivo seja inferior ao das cultivares IAC 1850 e

IAC 1849, estudos indicam que Sintonia mantém estabilidade fisiológica, o que pode ser vantajoso em ambientes de maior variabilidade climática (Rodrigues *et al.*, 2021).

De modo geral, as cultivares IAC 1850, IAC 1849 e Sintonia representam avanços significativos no melhoramento genético do feijoeiro, oferecendo opções para diferentes sistemas produtivos e contribuindo para a sustentabilidade da agricultura brasileira (IAC, 2021; Embrapa, 2020).

3. METODOLOGIA

3.1 Área Experimental

O experimento foi desenvolvido em 2023, em condições controladas de casa de vegetação e no Laboratório de Sementes e Nutrição Vegetal da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA) –APTA Regional Andradina. A unidade de pesquisa está situada na região noroeste do estado de São Paulo, a uma altitude de 379 metros, com coordenadas geográficas de 20°55' de latitude sul e 51°23' de longitude oeste. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico. A região apresenta precipitação média anual de aproximadamente 1.150 mm e temperatura média anual de 23 °C.

3.2 Descrição de tratamentos e parcela experimental

O experimento foi realizado em duas etapas. A primeira ocorreu no laboratório, onde foram realizadas a inoculação das sementes e a instalação dos testes de vigor. A segunda etapa foi conduzida em casa de vegetação, utilizando-se 60 vasos com capacidade de quatro litros, preenchidos com solo coletado nos campos experimentais da unidade de pesquisa.

Foram utilizadas três cultivares de feijão do grupo comercial carioca:

1. **IAC 1850** – Apresenta hábito de crescimento indeterminado, tipo II, com tegumento do tipo carioca. Possui potencial produtivo superior a 4.500 kg ha⁻¹, porte semiereto, ciclo semiprecoce (aproximadamente 88 dias), massa de mil grãos de 280 g, resistência ao escurecimento dos grãos por até 90 dias e tolerância à antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*) e à murcha de fusarium (*Fusarium oxysporum*) (Gomes, 2019; Cati, 2024).

2. **IAC 1849** – Cultivar de hábito de crescimento determinado, tipo I, com tegumento carioca. Apresenta produtividade média de 2.464 kg ha⁻¹, com potencial superior a 4.500 kg ha⁻¹, ciclo precoce (cerca de 75 dias), massa de mil grãos de 250 g, resistência ao escurecimento dos grãos por até 150 dias, resistência à antracnose e moderada resistência à mancha angular (*Phaeoisariopsis griseola*), murcha de fusarium, crestamento bacteriano (*Xanthomonas campestris*) e murcha de curtobacterium (*Curtobacterium flaccumfaciens* pv. *flaccumfaciens*) (Carbonell; Chiorato, 2020; Cati, 2024).

3. **IAC Sintonia** – Possui hábito de crescimento indeterminado, tipo II, com tegumento carioca. Apresenta produtividade média de 3.553 kg ha⁻¹ e potencial produtivo de

até 4.740 kg ha⁻¹. Tem ciclo semiprecoce (cerca de 85 dias), massa de mil grãos de 290 g, resistência à antracnose e tolerância à mancha de fusarium (Gomes, 2016; Cati, 2024).

Os produtos biológicos utilizados para inoculação de sementes foram:

1 - *Biofree*®, composto por *Azospirillum brasilense* linhagem Ab-V₆; *Pseudomonas fluorescens* CCTB03, de concentração 1×10 UFC/mL (Biotrop, 2025).

2 - *Rhizobium tropici*, inoculante contendo estirpes selecionadas deste rizóbio, reconhecido por sua capacidade de estabelecer simbiose com o feijoeiro e promover a fixação biológica do nitrogênio (FBN), especialmente sob condições de alta temperatura (Hungria; Vargas, 2000).

3 - *Bacillus subtilis*, inoculante com formulação à base dessa bactéria promotora de crescimento vegetal, caracterizada por sua capacidade de formar esporos resistentes e produzir metabólitos que estimulam o desenvolvimento radicular, induzem resistência a patógenos e melhoram a absorção de nutrientes (Oliveira, 2006; Saharan, 2011).

4 - *Brutal plus*®, produto comercial com complexo de microrganismo benéficos.

Adotou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado para as avaliações realizadas tanto em laboratório quanto em vasos, envolvendo três cultivares de feijão e cinco tratamentos distintos. Inicialmente, foram aplicados os produtos biológicos às sementes e conduzidos os testes laboratoriais. Em seguida, realizou-se o preenchimento dos vasos com solo e a semeadura.

Tratamento 1: IAC Sintonia + testemunha

Tratamento 2: IAC Sintonia + *Biofree*®

Tratamento 3: IAC Sintonia + *Rhizobium tropici*

Tratamento 4: IAC Sintonia + *Bacillus subtilis*

Tratamento 5: IAC Sintonia + *Brutal plus*®

Tratamento 6: IAC 1849 + testemunha

Tratamento 7: IAC 1849 + *Biofree*®

Tratamento 8: IAC 1849 + *Rhizobium tropici*

Tratamento 9: IAC 1849 + *Bacillus subtilis*

Tratamento 10: IAC 1849 + *Brutal plus*®

Tratamento 11: IAC 1850 + testemunha

Tratamento 12: IAC 1850 + *Biofree*®

Tratamento 13: IAC 1850 + *Rhizobium tropici*

Tratamento 14: IAC 1850 + *Bacillus subtilis*

Tratamento 15: IAC 1850 + *Brutal plus*®

A dose estabelecida dos inoculantes foi de: *Biofree*®, 200 mL ha⁻¹; *Rhizobium tropici*, 200 mL ha⁻¹; *Bacillus subtilis*, 200 mL ha⁻¹; *Brutal Plus*® 200 mL ha⁻¹, em 60 kg de sementes ha⁻¹.

3.3 Avaliações realizadas

3.3.1 Qualidade fisiológica das sementes

A avaliação da qualidade fisiológica das sementes foi realizada por meio do teste padrão de germinação e de diferentes testes de vigor. Estes foram divididos em dois grupos principais: fisiológicos e de resistência. Os testes fisiológicos incluíram a primeira contagem da germinação, a classificação do vigor de plântulas normais, o índice de velocidade de emergência, a emergência em campo e a determinação da massa fresca e seca das plântulas em condições de laboratório e campo. Já os testes de resistência foram representados pelo método de envelhecimento acelerado, conforme descrito por (Mcdonald, 1975.; MarcoS Filho, 1994).

A seguir são descritos os testes realizados:

Teste de germinação: Foi conduzido com quatro subamostras compostas por 50 sementes para cada tratamento. As sementes foram dispostas entre folhas de papel Germitest,

previamente umedecidas com volume de água deionizada correspondente a 2,5 vezes a massa do papel. Posteriormente, os rolos foram acondicionados em câmara de germinação do tipo BOD, mantida a uma temperatura de 25 ± 3 °C e sob fotoperíodo de 12 horas. As avaliações foram realizadas no quinto e nono dia após a semeadura, conforme os critérios estabelecidos pelas Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009).

Primeira contagem: foi conduzida simultaneamente ao teste de germinação, sendo avaliada no quinto dia após a semeadura. Nessa etapa, foi determinada a porcentagem de plântulas classificadas como normais.

Classificação do vigor das plântulas: foi realizada paralelamente ao teste de germinação. No quinto dia após a semeadura, as plântulas foram avaliadas e classificadas como normais ou anormais. Consideraram-se plântulas normais aquelas que apresentavam estruturas bem formadas, como cotilédones íntegros e sistema radicular desenvolvido. Por outro lado, plântulas com desenvolvimento comprometido, apresentando cotilédones ou raízes malformadas ou reduzidas, foram classificadas como anormais, conforme metodologia adaptada de Nakagawa (1999).

Comprimento da raiz: Para a medição do comprimento radicular, foram utilizadas quatro repetições com 10 plântulas normais selecionadas aleatoriamente. A mensuração foi realizada com o auxílio de uma régua milimetrada, do ápice da raiz até a inserção dos cotilédones. Este procedimento foi conduzido no laboratório, aos cinco dias após a semeadura, juntamente com o teste de germinação (Nakagawa, 1999).

Massa seca de plântula: foi determinada aos cinco dias após a semeadura, utilizando as plântulas do teste de germinação. Dez plântulas foram avaliadas inicialmente quanto à massa fresca, utilizando balança de precisão com sensibilidade de 0,001 g. Posteriormente, as mesmas foram acondicionadas em estufa de circulação de ar forçada a 80 °C, permanecendo até atingirem peso constante, para então se determinar a massa seca (Nakagawa, 1999).

Índice de velocidade de emergência: foi calculado com base nos dados obtidos no teste de germinação, conforme a fórmula proposta por Maguire (1962), que considera o número de plântulas emergidas a cada dia e o tempo decorrido desde a semeadura.

$$IVE = \frac{E1}{N1} + \frac{E2}{N2} + \dots + \frac{En}{Nn}$$

Sendo: IVE = índice de velocidade de emergência;

E1; E2; En = número de plântulas normais computadas na primeira contagem, na segunda contagem e na última contagem;

N1; N2; Nn = número de dias da semeadura à primeira, à segunda e à última contagem.

Para cada repetição, foi calculada o índice de velocidade de emergência (IVE) empregando a fórmula acima, e o índice foi dado a partir da média aritmética das quatro repetições.

Emergência de plântulas em campo: foi avaliada em condições ambientais, por meio da semeadura de quatro repetições contendo 50 sementes cada, dispostas uniformemente em sulcos previamente umedecidos e cobertas com uma fina camada de solo. A avaliação foi realizada aos 15 dias após a semeadura, por meio da contagem das plântulas emergidas, expressa em porcentagem, conforme a metodologia descrita por Nakagawa (1999).

Envelhecimento acelerado: foi conduzido conforme a metodologia proposta por Marcos Filho (1999). As sementes foram acondicionadas em caixas plásticas contendo 40 mL de água no fundo e dispostas sobre uma tela metálica, de modo que não entrassem em contato direto com o líquido. As caixas foram mantidas em estufa a 41 °C durante 48 horas. Após esse período, as sementes foram submetidas ao teste de germinação, utilizando quatro repetições de 50 sementes por tratamento. A semeadura foi realizada em rolos de papel Germitest umedecidos com volume de água destilada equivalente a 2,5 vezes a massa do papel. Os rolos foram mantidos em germinador com temperatura constante de 25 ± 2 °C e fotoperíodo de 12 horas. As contagens foram realizadas no quinto e nono dia após a instalação do teste, seguindo os critérios estabelecidos nas Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009).

3.3.2 Avaliação do desenvolvimento das plantas em vasos

A segunda etapa do experimento foi conduzida em casa de vegetação, utilizando-se 60 vasos com capacidade de cinco litros. O solo utilizado para o enchimento dos vasos foi coletado em uma área cultivada com espécies anuais sob manejo orgânico há mais de uma década. De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2013), o solo dessa área é classificado como Latossolo Vermelho distrófico de textura arenosa.

Previamente à instalação do experimento, foi realizada a análise de fertilidade do solo na camada de 0 - 0,20 m, com o objetivo de caracterizar os atributos químicos do solo. A análise foi conduzida conforme metodologia descrita por Raij *et al.* (1997). (Tabela 1).

Tabela 01. Atributos químicos do solo na área experimental, na profundidade de 0-20 cm. Andradina (SP), Brasil (2023).

Macronutrientes e resultados complementares									
Camada	P	MO	pH	S		K	Ca	Mg	H + AL
(cm)	(mg dm³)	(g dm³)	(CaCl2)	(mg dm³)	mmolc dm³				
0 - 20	1	7	5,6	16	1,3 7 2 8				
Micronutrientes e resultados complementares									
Camada	Zn	Cu	B	Fe	Mn	m	V	SB	CTC
(cm)	mg dm³					(%)		mmolc dm³	
0 - 20	0,3	0,4	0,04	3	4,2	0	56	10,3	18,3

As sementes foram submetidas aos mesmos tratamentos aplicados nos testes laboratoriais e, em seguida, foram semeadas nos vasos, com a distribuição inicial de cinco sementes por vaso. Após a emergência, realizou-se o desbaste, mantendo-se duas plantas por vaso. O delineamento experimental compreendeu 15 tratamentos, com quatro repetições cada.

A avaliação do desenvolvimento das plantas cultivadas em vasos foi realizada por meio da análise de biomassa fresca e seca da parte aérea e das raízes.

Massa fresca e seca da parte aérea: uma planta foi coletada aleatoriamente por vaso no estágio de pleno florescimento. As raízes foram lavadas para remoção do solo e excesso de água, sendo então separadas da parte aérea. Em seguida, realizou-se a pesagem da parte aérea em balança de precisão (0,001 g). Posteriormente, as amostras foram levadas à estufa com

circulação de ar forçada, a 80 °C, até atingirem massa constante, para determinação da massa seca, conforme metodologia descrita por Nakagawa (1999).

Massa fresca e seca das raízes: o mesmo procedimento adotado para a parte aérea foi aplicado às raízes.

Teor de clorofila: a leitura do índice SPAD foi realizada na casa de vegetação, com o uso do aparelho CFL1030 (Falker®), quando as plantas atingiram o estágio de florescimento pleno. As medições foram feitas no primeiro trifólio completamente expandido, em direção basípeta, com quatro leituras por planta (Pires *et al.*, 2004).

3.4 Análises estatísticas

Os dados coletados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), por meio do teste F, com o intuito de verificar a existência de diferenças significativas entre os tratamentos. As médias que apresentaram significância foram comparadas entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software SISVAR (Ferreira, 2019).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 02, são apresentados os resultados de germinação, primeira contagem e porcentagem de plântulas anormais das cultivares de feijão. Observou-se efeito significativo apenas do fator cultivar para todas as variáveis analisadas. De modo geral, a cultivar IAC 1850 destacou-se, com os maiores valores para primeira contagem (93,3%) e germinação (94,9%). Em contrapartida, a cultivar IAC Sintonia apresentou o pior desempenho, com menor taxa de germinação (80,5%) e a maior porcentagem de plântulas anormais. As cultivares IAC 1849 e IAC 1850 apresentaram valores significativamente superior de primeira contagem e germinação em comparação a cultivar IAC Sintonia, conforme o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 02- Valores médios obtidos para germinação, primeira contagem (vigor) e plântulas anormais de cultivares de feijão, em função de inoculantes. Andradina (SP), 2023.

Tratamentos	Primeira contagem (%)	Germinação (%)	Plântulas anormais (%)
Cultivares			
IAC Sintonia	77,0 b	80,5 b	13,60 a
IAC 1849	92,6 a	94,8 a	7,20 ab
IAC 1850	93,3 a	94,9 a	4,70 b
Inoculante			
Testemunha	87,3	89,5	7,00
Biofree	85,7	88,0	4,50
Bacillus	87,2	90,0	15,00
Rhizobium	88,7	91,3	7,33
Brutal Plus	90,0	90,5	8,67
F			
Cultivar	53,63*	48,06*	4,00*
Inoculante	1,072 ^{ns}	0,867 ^{ns}	1,765 ^{ns}
Cultivar x Inoculante	0,182 ^{ns}	0,293 ^{ns}	0,909 ^{ns}
DMS			
Cultivar	4,22	4,11	7,88
Inoculante	6,38	6,22	11,93
Média	87,77	90,07	8,50
CV (%)	6,25	5,93	35,22

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.
* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e ns não significativo.

Resultados semelhantes foram descritos por Ascoli (2020), ao observar que a cultivar IAC Sintonia apresentou desempenho inferior nos parâmetros de germinação, primeira contagem e índice de velocidade de germinação, quando comparada à cultivar BRS Estilo.

Conforme apresentado na Tabela 03, a cultivar IAC 1849 apresentou maior desenvolvimento radicular e massa seca de plântulas em comparação às demais, destacando-se principalmente frente à IAC Sintonia. Embora os inoculantes não tenham gerado efeitos estatisticamente significativos, o uso do Biofree indicou tendência positiva para o crescimento inicial das raízes, podendo beneficiar a absorção de água e nutrientes no desenvolvimento da cultura.

Tabela 03 - Valores médios obtidos para comprimento de raiz e massa seca de plântulas de cultivares de feijão, em função de inoculantes. Andradina (SP), 2023.

Tratamentos	Comprimento raiz (cm)	Massa seca plântula (g)
Cultivares		
IAC Sintonia	9,31 b	0,59
IAC 1849	10,44 a	0,65
IAC 1850	10,10 a	0,63
Inoculante		
Testemunha	9,70	0,62
Rhizobium	9,76	0,65
Brutal	9,82	0,60
Bacillus	9,82	0,62
Biofree	10,55	0,62
F		
Cultivar	7,04 *	4,57 *
Inoculante	1,50 ^{ns}	0,69 ^{ns}
Cultivar x Inoculante	1,66 ^{ns}	2,89 *
DMS		
Cultivar	0,75	0,05
Inoculante	1,38	0,07
Média	9,95	0,62
CV (%)	9,83	9,85

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.
* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e ns - não significativo.

Os resultados obtidos para a variável massa seca de plântula demonstraram uma interação significativa entre os inoculantes biológicos e as cultivares de feijão, evidenciando na

tabela 04 que a resposta fisiológica das plântulas é diretamente influenciada pela compatibilidade entre o genótipo da cultivar e o tipo de microrganismo aplicado. Tal constatação é corroborada por diversos estudos que enfatizam a importância da interação cultivar × inoculante na promoção do crescimento vegetal (Hungria *et al.*, 2003; Pereira *et al.*, 2021).

Tabela 04- Desdobramento das interações significativas entre cultivares e inoculantes para massa seca de plântula de cultivares de feijão. Andradina (SP), 2023.

Massa seca de plântula (g)			
Inoculante	Cultivares		
	IAC Sintonia	IAC 1849	IAC 1850
Bacillus	0,56 a A	0,69 a A	0,61 a A
Biofree	0,64 a A	0,55 b B	0,67 a A
Brutal plus	0,58 a A	0,63 ab AB	0,61 a A
Rhizobium	0,57 a A	0,70 a A	0,67 a A
Testemunha	0,61 a A	0,67 ab AB	0,58 a A
DMS C (I)		0,10	
DMS I (C)		0,12	

Letra minúscula comparação na linha, letra maiúscula comparação na coluna. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

De modo geral, o cultivar IAC 1849 apresentou os maiores valores médios, destacando-se com *Rhizobium* (0,70 g) e *Bacillus* (0,69 g), diferindo estatisticamente de Biofree (0,55 g) pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$), diferença superior à DMS I(C) de 0,12 g. Esse resultado indica maior sensibilidade do IAC 1849 à inoculação, corroborando estudos que apontam a eficiência de microrganismos promotores de crescimento, como *Rhizobium* spp., pela fixação biológica de nitrogênio (FBN), e *Bacillus* spp., por mecanismos como produção de fitormônios e solubilização de fósforo (Pellicano, 1992; ChagaS Junior *et al.*, 2021; Coelho, 2021). Por outro lado, os cultivares IAC Sintonia e IAC 1850 apresentaram respostas mais homogêneas, sem diferenças significativas entre inoculantes, sugerindo menor dependência da inoculação para incremento de biomassa inicial, possivelmente devido à presença de populações nativas eficientes ou condições edáficas favoráveis (Carvalho *et al.*, 2019; Revista Ceres, 2016).

O menor desempenho do inoculante Biofree na cultivar IAC 1849 (0,55 g) pode ser explicado por três fatores principais: compatibilidade genótipo–microrganismo, competição com microbiota nativa e condições edáficas favoráveis. Biofree é composto por *Azospirillum brasilense* e *Pseudomonas fluorescens*, rizobactérias promotoras de crescimento (PGPR) que

atuam por mecanismos indiretos, como produção de fitormônios e solubilização de fósforo. No entanto, a eficiência desses mecanismos depende da capacidade de colonização e sinalização entre microrganismos e genótipo vegetal, o que pode variar entre cultivares (Silva, 2018; Vieira, 2021). Além disso, solos com alta densidade de microrganismos nativos reduzem a eficácia da inoculação, pois ocorre competição por nichos e recursos, limitando a expressão dos benefícios das PGPR (Lopes *et al.*, 2021; Reis Junior, 2023). Outro fator é a fertilidade do solo: ambientes com boa disponibilidade de nutrientes tendem a mascarar os efeitos da inoculação, tornando os incrementos de biomassa pouco expressivos (Florencio *et al.*, 2022; Embrapa, 2020). Esses resultados reforçam a necessidade de avaliações específicas para cada combinação cultivar × inoculante, considerando tanto características genéticas quanto condições ambientais.

Segundo Vargas *et al.* (2002) e Grange & Hungria (2004), mesmo em solos onde existe uma população considerável de microrganismos nativos, a reinoculação anual com cepas selecionadas de rizóbios pode garantir maior ocupação nodular e melhor eficiência na absorção de nutrientes, principalmente nitrogênio, contribuindo para o acúmulo de massa seca, conforme observado neste estudo com o inoculante *Rhizobium*.

Os resultados de envelhecimento acelerado e emergência em campo e IVG estão na Tabela 05. A germinação obtida após envelhecimento acelerado não apresentou diferenças significativas entre os cultivares e inoculantes

Tabela 05 - Valores médios obtidos para envelhecimento acelerado e emergência em campo de cultivares de feijão, em função de inoculantes. Andradina (SP), 2023.

Tratamentos	Envelhecimento Acelerado (%)	Emergência em campo (%)	IVG
Cultivares			
IAC Sintonia	73,60	70,90 b	8,67 b
IAC 1849	76,90	90,60 a	9,67 a
IAC 1850	75,10	91,50 a	9,78 a
Inoculante			
Testemunha	54,17	51,33 b	9,24 ab
Rhizobium	52,17	49,83 b	9,42 ab
Brutal	50,50	58,67 a	9,55 ab
Bacillus	45,33	54,67 ab	9,71 a
Biofree	48,67	54,67 ab	8,94 b
F			
Cultivar	0,851 ns	18,52 *	19,87*
Inoculante	0,763 ns	4,36 *	2,74 *
Cultivar x Inoculante	0,311 ns	3,59 ns	1,43 ns
DMS			
Cultivar	10,31	4,37	0,47
Inoculante	15,61	6,62	0,72
Média	75,20	84,33	9,38
CV (%)	26,73	10,57	6,57

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e ns - não significativo.

Na emergência em campo é possível verificar a robustez das cultivares IAC 1849 e IAC 1850 em comparação à IAC Sintonia. As cultivares IAC 1850 e IAC 1849 apresentaram emergência em campo de 91,5% e 90,6%, respectivamente, enquanto a IAC Sintonia apresentou apenas 70,90%. Além disso, o índice de velocidade de germinação mais baixo foi obtido pela cultivar Sintonia, 8,67, enquanto a cultivar IAC 1850 apresentou IVG de 9,78, e a IAC 1849 apresentou 9,67. Esses resultados confirmam a maior resistência dessas cultivares à deterioração das sementes ao longo do tempo.

Os inoculantes apresentam efeito significativos na emergência em campo destacando-se o desempenho superior do inoculante Brutal Plus®, com média de 58,67%, superando o tratamento testemunha (51,33%) e o tratamento com *Rhizobium* (49,83%) (Tabela 5). Esse resultado evidencia o potencial de formulações à base de *Bacillus* spp. na promoção do estabelecimento inicial das plântulas de feijão.

Pamplona *et al.* (2024) observaram que a aplicação de fontes organominerais de potássio em feijão comum elevou significativamente a massa seca da parte aérea e o número de vagens, além de melhorar a tolerância ao déficit hídrico das plântulas. Nesse caso o efeito pode ser semelhante com o uso do Brutal Plus®, produto que combina potássio solúvel e carbono orgânico, favorecendo não apenas a emergência (58,67%) como também o vigor inicial das plantas, por melhorar a nutrição potássica e a atividade biológica no solo.

Além dos efeitos diretos sobre a planta, o uso de matéria orgânica também beneficia o solo. Conforme Loss *et al.* (2011) e Silva *et al.* (2019), o carbono orgânico serve como fonte de energia para microrganismos benéficos, melhorando a saúde da rizosfera. Ferreira *et al.* (2020) destacam ainda que o potássio, quando fornecido por fontes orgânicas, favorece a interação entre raízes e microrganismos, contribuindo para melhor absorção de nutrientes.

O desenvolvimento das plantas de feijão em vasos foi avaliado por meio da massa seca e úmida da parte aérea e das raízes. Conforme demonstrado na Tabela 06, observou-se efeito significativo na massa seca da parte aérea tanto para os cultivares quanto para a interação entre cultivares e inoculantes, além de que se observou efeitos significativos entre a interação cultivares e inoculantes em massa úmida da parte aérea, demonstrando que a resposta das plantas variou conforme a combinação entre genótipo e tratamento biológico.

Tabela 06- Valores médios obtidos para massa úmida e seca de parte aérea de plantas de feijão cultivadas em vasos, em função de inoculantes. Andradina (SP), 2023.

Tratamentos	Massa úmida (g)	Massa seca (g)
Cultivares		
IAC Sintonia	25,03	4,24
IAC 1849	24,64	3,50
IAC 1850	27,09	5,56
Inoculantes		
Testemunha	26,07	4,48
Rhizobium	23,48	4,01
Brutal	27,33	5,00
Bacillus	26,63	4,57
Biofree	24,43	4,12
F		
Cultivar	2,21 ^{ns}	15,51 *
Inoculante	1,94 ^{ns}	1,32 ^{ns}
Cultivar x Inoculante	2,17 *	3,48 *
DMS		
Cultivar	3,04	0,91
Inoculante	4,61	1,38
Média	25,59	4,44
CV (%)	15,48	26,69

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. * Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e ns - não significativo

O cultivar IAC 1850 apresentou o melhor desempenho em massa seca, com média de 5,56 g, diferenciando-se estatisticamente dos cultivares IAC Sintonia (4,24 g) e IAC 1849 (3,50 g). Em relação aos inoculantes, embora não tenham sido observadas diferenças estatísticas, o tratamento com Brutal Plus resultou na maior massa seca média (5,00 g), superando a testemunha (4,48 g) e outros bioinsumos como Biofree (4,12 g) e *Rhizobium* (4,01 g), sugerindo um potencial efeito benéfico desse produto no desenvolvimento vegetativo inicial das plantas.

Nos inoculantes apesar de não haver diferenças significativas o destaque do Brutal Plus® pode estar associado à sua composição rica em carbono orgânico e potássio solúvel, nutrientes que promovem o crescimento vegetativo e o metabolismo energético das plantas.

Esses componentes também podem atuar sobre a microbiota do solo, como já discutido por Loss *et al.* (2011) e Silva *et al.* (2019), favorecendo a absorção de nutrientes e o desenvolvimento inicial das plantas. A interação significativa entre cultivar e inoculante reforça a importância de avaliar a compatibilidade entre genótipos e insumos, evidenciando que a resposta da planta pode variar de acordo com o material genético utilizado e as condições experimentais.

Na Tabela 7 está o desdobramento da interação cultivar x inoculante onde a testemunha (sem inoculação) apresentou a maior média de massa úmida no cultivar IAC Sintonia (30,50 g), valor estatisticamente superior aos demais, indicando que essa cultivar possui alto potencial de acúmulo de biomassa mesmo na ausência de inoculantes. Esse resultado é corroborado por Santos (2024), que também encontrou desempenho satisfatório de IAC Sintonia sem o uso de bioinsumos, sugerindo que este genótipo apresenta maior resiliência fisiológica e menor dependência de estímulos externos.

Tabela 07- Desdobramento das interações significativas entre cultivares e inoculantes para Massa úmida da parte aérea de cultivares de feijão. Andradina (SP), 2023.

Inoculante	Massa úmida (g)		
	Cultivares		
	Sintonia	IAC 1849	IAC 1850
Bacillus	24,43 a AB	26,19 a A	29,28 a A
Biofree	22,64 a AB	24,94 a A	25,70 a A
Brutal plus	27,01 a AB	28,19 a A	26,77 a A
Rhizobium	20,57 b B	22,03 ab A	27,84 a A
Testemunha	30,50 a A	21,84 b A	25,86 ab A
DMS C (I)	6,81		
DMS I (C)	7,98		

Letra minúscula comparação na linha, letra maiúscula comparação na coluna. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Por outro lado, o inoculante Brutal Plus® proporcionou valores elevados de massa úmida nos cultivares IAC 1849 (28,19 g) e IAC 1850 (26,77 g), ambos superiores à testemunha e próximos da DMS (6,81 g), embora sem diferença estatística. Esses resultados indicam uma tendência positiva do produto, nesse caso provavelmente associada à presença de potássio solúvel e carbono orgânico em sua formulação, nutrientes que favorecem o desenvolvimento inicial e o acúmulo de biomassa, como demonstrado por Pamplona *et al.* (2024) e Loss *et al.* (2011).

Adicionalmente, o inoculante à base de *Rhizobium* apresentou variação significativa entre os cultivares, com menor desempenho no IAC Sintonia (20,57 g) e melhor resposta no IAC 1850 (27,84 g). Essa diferença reforça a influência da compatibilidade entre cepa e genótipo, uma vez que a eficiência da simbiose pode depender da especificidade da associação entre microrganismo e planta hospedeira (Ferreira *et al.*, 2020). Em resumo, os resultados apontam que cultivares como IAC 1849 e IAC 1850 se beneficiam mais intensamente da inoculação com Brutal Plus®, *Rhizobium*, *Bacillus* e biofree, enquanto IAC Sintonia apresenta desempenho superior mesmo sem inoculação, reafirmando sua estabilidade agrônômica.

De forma complementar, os inoculantes *Bacillus* e Biofree apresentaram desempenho intermediário, com médias variando de 24,43 g a 29,28 g para *Bacillus* e de 22,64 g a 25,70 g para Biofree, sem diferenças estatísticas. Essa tendência indica que *Bacillus*, por mecanismos como produção de fitormônios e solubilização de fósforo, tende a favorecer maior vigor inicial, enquanto Biofree, composto por *Azospirillum brasilense* e *Pseudomonas fluorescens*, depende mais da compatibilidade genótipo–microrganismo e das condições edáficas para expressar seus efeitos (Chagas Junior *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2020; Embrapa, 2020).

A Tabela 8 revela interação significativa entre cultivares e inoculantes para a variável massa seca da parte aérea, evidenciando que a resposta fisiológica dos genótipos varia de acordo com o bioinsumo utilizado. O destaque foi para o cultivar IAC 1850, que apresentou os maiores valores em praticamente todos os tratamentos, especialmente com o inoculante *Bacillus* (6,60 g), seguido por Brutal Plus® (5,85 g), Biofree (5,80 g) e *Rhizobium* (5,26 g), todos superiores à testemunha (4,30 g). Isso indica uma boa compatibilidade do IAC 1850 com os inoculantes, além de maior eficiência fisiológica para o acúmulo de biomassa em sua parte aérea.

Tabela 08- Desdobramento das interações significativas entre cultivares e inoculantes para Massa seca da parte area de cultivares de feijão. Andradina (SP), 2023.

Inoculante	Massa seca (g)		
	Cultivares		
	Sintonia	IAC 1849	IAC 1850
Bacillus	3,41 b B	3,69 b A	6,60 a A
Biofree	3,06 b B	3,51 b A	5,80 a A
Brutal plus	4,74 a AB	4,40 a A	5,85 a A
Rhizobium	3,63 ab B	3,14 b A	5,26 a A
Testemunha	6,36 a A	2,79 b A	4,30 b A
DMS C (I)	2,03		
DMS I (C)	2,39		

Letra minúscula comparação na linha, letra maiúscula comparação na coluna. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

No caso do inoculante Brutal Plus®, o cultivar IAC 1850 novamente obteve a maior massa seca (5,85 g), sendo estatisticamente superior aos cultivares IAC Sintonia (4,74 g) e IAC 1849 (4,40 g), embora sem diferença significativa. Este resultado reforça a eficiência do Brutal Plus® na promoção do crescimento vegetal, o que pode estar relacionado à sua composição rica em carbono orgânico e potássio solúvel, que favorecem o metabolismo e o desenvolvimento de tecidos vegetativos, conforme já relatado por Pamplona *et al.* (2024) e Loss *et al.* (2011).

Novamente a cultivar Sintonia apresentou o maior valor de massa seca para o tratamento com ausência de inoculação (6,36 g), superando todos os demais tratamentos com inoculantes. Esse comportamento, já observado por Santos (2024), sugere que o IAC Sintonia apresenta uma fisiologia intrinsecamente eficiente, mesmo sem estimulação biológica externa, reforçando sua estabilidade agrônômica. Destaca-se, entretanto, o desempenho do Brutal Plus® (4,74 g) que foi estatisticamente igual a testemunha reafirmando sua estabilidade entre os tratamentos assim como entre as cultivares, indicando ausência de diferenças entre cultivares e sugerindo estabilidade de resposta do produto. Esse resultado pode ser atribuído à presença de potássio solúvel e carbono orgânico na formulação, elementos que favorecem processos fisiológicos como transporte osmótico, síntese de carboidratos e ativação enzimática, além de melhorar a estrutura do solo e a retenção hídrica, fatores críticos para o vigor inicial (Pamplona *et al.*, 2024; Florencio *et al.*, 2022). Já o cultivar IAC 1849 teve desempenho inferior com todos os inoculantes, com valores variando de 2,79 a 4,40 g, o que pode indicar menor responsividade a bioinsumos sob as condições do experimento.

A avaliação dos dados apresentados na Tabela 09 evidencia que a massa úmida das raízes de plantas de feijão foi significativamente influenciada pelos inoculantes aplicados, bem como pela interação entre cultivares e inoculantes. Embora a massa seca não tenha apresentado interação significativa, houve diferença estatística isolada entre os cultivares, demonstrando variações genotípicas relevantes.

Tabela 09 - Valores médios obtidos para massa úmida e seca de raízes de plantas de feijão em vasos, em função de inoculantes. Andradina (SP), 2023.

Tratamentos	Massa úmida (g)	Massa seca (g)
Cultivares		
IAC Sintonia	55,62	7,06 b
IAC 1849	50,21	9,00 ab
IAC 1850	48,01	9,86 a
Inoculante		
Testemunha	59,80	9,24
Rhizobium	60,10	7,23
Brutal	49,10	9,52
Bacillus	45,00	8,42
Biofree	50,90	8,80
F		
Cultivar	2,26 ^{ns}	5,31 *
Inoculante	3,96 *	1,23 ^{ns}
Cultivar x Inoculante	3,93*	1,89 ^{ns}
DMS		
Cultivar	8,92	2,15
Inoculante	13,55	3,25
Média	51,28	8,64
CV (%)	22,27	32,31

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e ns - não significativo

O inoculante *Rhizobium* promoveu a maior média de massa úmida (60,10 g), seguido pela testemunha (59,80 g), não diferindo estatisticamente entre si. Esse desempenho está relacionado à conhecida capacidade simbiótica do *Rhizobium* em fixar nitrogênio atmosférico e estimular o desenvolvimento radicular por meio da nodulação eficiente, como destacado por Ferreira *et al.* (2020). Apesar de a testemunha não apresentar inoculação, o solo possivelmente

já continha microbiota nativa atuante, o que também foi observado por Silva *et al.* (2022), que destacam a resiliência de populações microbianas em ambientes com histórico agrícola.

O inoculante brutal apresentou desempenho inferior em massa úmida (49,10 g), porém destacou-se na massa seca das raízes, com a maior média entre os tratamentos (9,52 g). Tal comportamento pode ser atribuído à formação de raízes mais densas e com menor teor de água, indicando uma possível adaptação fisiológica e estrutural induzida por microrganismos promotores de crescimento presentes na formulação, como relatado por Santos *et al.* (2021).

O inoculante à base de *Bacillus* resultou na menor média de massa úmida (45,00 g), sendo estatisticamente inferior aos demais tratamentos. Apesar disso, sua massa seca (8,42 g) foi próxima à média geral, sugerindo que, embora o volume radicular tenha sido reduzido, houve possível alocação eficiente de biomassa, como também indicado por Melo *et al.* (2023), que observaram diferenças fisiológicas em raízes inoculadas com *Bacillus subtilis* em função da cultivar utilizada.

Dentre os cultivares, o IAC 1850 apresentou os melhores resultados em massa seca das raízes (9,86 g), diferindo estatisticamente do cultivar IAC Sintonia (7,06 g). Isso reforça que a resposta aos inoculantes está condicionada ao potencial genético dos cultivares e à sua compatibilidade com os microrganismos aplicados (Melo *et al.*, 2021; Santos *et al.*, 2020).

Esses resultados evidenciam a importância da escolha criteriosa de inoculantes com base na interação com cada cultivar, visando promover ganhos reais em biomassa radicular e, consequentemente, maior eficiência na absorção de água e nutrientes, refletindo em plantas mais vigorosas e produtivas.

O desdobramento das interações (tabela 10) entre os diferentes inoculantes e cultivares de feijão demonstrou respostas fisiológicas contrastantes, revelando que a eficiência dos bioinsumos está diretamente relacionada à compatibilidade entre microrganismo e genótipo.

Tabela 10- Desdobramento das interações significativas entre cultivares e inoculantes para massa úmida de raízes de cultivares de feijão em função de inoculantes. Andradina (SP), 2023.

Inoculante	Massa seca (g)		
	Cultivares		
	Sintonia	IAC 1849	IAC 1850
Bacillus	41,00 b B	42,50 b B	51,50 a A
Biofree	60,30 a A	41,25 b B	51,15 a A
Brutal plus	52,00 a A	48,00 a A	47,30 a A
Rhizobium	63,00 a A	60,00 a A	57,30 a A
Testemunha	61,80 a A	59,30 a A	58,30 a A
DMS C (I)		20,00	
DMS I (C)		23,46	

Letra minúscula comparação na linha, letra maiúscula comparação na coluna. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

O inoculante Brutal Plus®, com composição rica em potássio solúvel e carbono orgânico, apresentou desempenho uniforme entre os cultivares IAC Sintonia (52,00), IAC 1849 (48,00) e IAC 1850 (47,30), indicando estabilidade na promoção do vigor inicial. Esse efeito bioestimulante é compatível com os resultados obtidos por Sousa *et al.* (2023), que relataram aumento emergencial de plântulas e na rentabilidade de cultivares de feijão com aplicação de bioestimulantes à base de extrato de algas e compostos orgânicos em sementes e em cobertura.

O inoculante *Rhizobium* mostrou respostas positivas para os três cultivares no crescimento de raízes, principalmente no cultivar IAC Sintonia (63,00), o que sugere bom estabelecimento da simbiose e potencial de fixação biológica de nitrogênio.

Em contraste, o inoculante *Bacillus* demonstrou desempenho significativamente inferior nos cultivares IAC Sintonia (41,00) e IAC 1849 (42,50), mas alcançou bons resultados no IAC 1850 (51,50), evidenciando uma relação genótipo-inóculo específica. Já o Biofree apresentou menores valores de massa seca na IAC 1849 (41,25), enquanto manteve bons índices nos demais cultivares, comportamento que reforça a variabilidade na resposta de consórcios microbianos conforme o perfil genético do hospedeiro (Ferreira *et al.*, 2020). Esse padrão confirma que a eficácia do Biofree depende da interação genótipo–microrganismo e das

condições edáficas, pois o produto, composto por *Azospirillum brasilense* e *Pseudomonas fluorescens*, atua por mecanismos como produção de auxinas, solubilização de fósforo e estímulo radicular, cujos efeitos são contexto-dependentes (Filipini *et al.*, 2021; Guimarães & Klein, 2023; Coelho *et al.*, 2021; Souza *et al.*, 2020).

Portanto, os resultados indicam que, embora produtos como Brutal Plus® e *Rhizobium* promovam ganhos consistentes, a resposta depende fortemente da interação genótipo-inóculo, sendo essencial considerar a compatibilidade entre o cultivar e o bioinsumo utilizado. A literatura recente respalda o uso de bioestimulantes e inoculantes no feijoeiro comum como estratégia eficiente para promover a emergência, o crescimento inicial

Os dados teor de clorofila apresentados na Tabela 11 mostra que não houve diferença estatisticamente significativa para o teor de clorofila em função dos fatores cultivar ($F = 2,60$ ns), inoculante ($F = 2,01$ ns) e da interação cultivar $\times$ inoculante ($F = 1,63$ ns). Apesar da ausência de significância estatística, foram observadas variações numéricas relevantes entre os tratamentos, o que pode indicar tendências fisiológicas associadas à nutrição e atividade fotossintética das plantas.

Tabela 11 - Valores médios obtidos para teor de clorofila de cultivares de feijão cultivados em vasos, em função de inoculantes. Andradina (SP), 2023.

Tratamentos	Clorofila
Cultivares	
IAC Sintonia	34,56
IAC 1849	37,28
IAC 1850	35,75
Inoculante	
Testemunha	36,04
Rhizobium	34,90
Brutal	38,40
Bacillus	34,42
Biofree	35,56
F	
Cultivar	2,60 ^{ns}
Inoculante	2,01 ^{ns}
Cultivar x Inoculante	1,63 ^{ns}
DMS	
Cultivar	2,90
Inoculante	4,40
Média	35,86
CV (%)	10,54

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. * Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F e ns não significativo.

Entre os cultivares avaliados, o IAC 1849 apresentou o maior valor médio de clorofila (37,28), seguido por IAC 1850 (35,75) e IAC Sintonia (34,56). Ainda que as diferenças não sejam significativas, esses dados sugerem maior eficiência fotossintética potencial no cultivar IAC 1849, o que pode estar relacionado a maior adaptação fisiológica às condições ambientais e microbiológicas presentes, conforme descrito por Oliveira *et al.* (2021), que associam altos teores de clorofila com maior assimilação de nitrogênio.

No que se refere aos inoculantes, o tratamento com brutal promoveu o maior valor médio de clorofila (38,40), superando inclusive a testemunha (36,04). Essa resposta positiva pode estar relacionada à presença de microrganismos promotores de crescimento (MPCPs) presentes no solo, que, segundo Mendes *et al.* (2022), estimulam a produção de fitohormônios, como citocininas, que atuam diretamente na biossíntese de clorofila.

Já os inoculantes à base de *Rhizobium*, *Bacillus* e Biofree apresentaram médias inferiores à testemunha, indicando possível menor eficiência na fixação biológica de nitrogênio (FBN) ou competição com cepas nativas do solo, conforme apontado por Ferreira *et al.* (2020). O desempenho inferior de *Bacillus* (34,42) e Biofree (35,56) também reforçam a hipótese de que os efeitos positivos na clorofila dependem não apenas do gênero microbiano, mas também da compatibilidade entre a formulação e o genótipo da planta hospedeira (Santos *et al.*, 2021).

Embora os efeitos não tenham sido estatisticamente significativos, a tendência de maior acúmulo de clorofila nos tratamentos com MPCPs reforça a importância de estudos complementares com diferentes doses, ambientes e estágios fenológicos.

5. CONCLUSÕES

O desempenho fisiológico e agrônômico das cultivares variou conforme características genéticas e interação com inoculantes. A IAC 1850 apresentou maior germinação, vigor e biomassa, indicando alto potencial produtivo e boa compatibilidade com bioinsumos; a IAC 1849 teve desempenho satisfatório, enquanto a Sintonia mostrou resultados inferiores, porém estáveis sem inoculação. Entre os inoculantes, *Rhizobium* destacou-se pelo aumento de massa seca e crescimento inicial, e Brutal Plus® pelo vigor e emergência, sugerindo efeito bioestimulante. A interação cultivar-inoculante é determinante para maximizar produtividade, reforçando os bioinsumos como alternativa sustentável para reduzir fertilizantes químicos e melhorar o manejo agrícola.

6. REFERÊNCIAS

- ALINA, M.; CONSTANTISCU, F.; PETRUTA, M. Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications. *Journal of Agricultural Science*, v. 7, n. 3, p. 45-56, 2015.
- ALMEIDA, L. D. A.; LEITÃO FILHO, H. F.; MIYASAKA, S. Observações sobre caracteres de sementes de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). *Bragantia*, Campinas, v. 30, n. 4, p. 25-33, 1971.
- ANTUNES, P. L.; BILHALVA, A. B.; ELIAS, M. C.; SOARES, G. J. D. Valor nutricional de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivares Rico 23, Carioca, Piratã-1 e Rosinha-g2. *Revista Brasileira de Agrociência*, v. 1, n. 1, Jan-Abr., 1995.
- ASCOLI, A. A. *Doses e fontes de boro via foliar nas características agronômicas e composição e qualidade fisiológica de sementes de feijoeiro*. 2020. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, SP. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/194507>>. Acesso em: 5 set. 2025.
- BARBOSA, F. R.; GONZAGA, A. C. de O. Aspectos econômicos e sociais da produção de leguminosas no Brasil. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, Brasília, v. 5, n. 2, p. 45-58, 2010.
- BARBOSA, F. R.; GONZAGA, A. C. de O. (ed.). *Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na Região Central-Brasileira: 2012-2014*. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2012. 247 p.
- BASHAN, Y.; HOLGUIN, G. Azospirillum–plant relationships: physiological, molecular, agricultural, and environmental aspects. *Canadian Journal of Microbiology*, v. 43, n. 2, p. 103-121, 1997.
- BENIN, G.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A. C. de. Melhoramento de feijão: aspectos socioeconômicos e agronômicos. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 49, n. 281, p. 383-400, 2002.
- BIOTROP. *Biotrop: catálogo de produtos*. 2024. Disponível em: <<https://biotrop.com.br/produtos/>>. Acesso em: 25 jan. 2025.

BOTTINI, R.; et al. Gibberellin production by bacteria and its effect on plants. *Plant Physiology*, v. 91, n. 1, p. 33-36, 1989.

BRAGA, J. M.; YAMADA, T. Uso eficiente de fertilizantes potássicos. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1984, Brasília. *Anais...* Brasília: EMBRAPA, DEP, p. 291-321, 1984.

BRASIL. *Ministério de Agricultura e da Reforma Agrária*. Regras para análise de sementes. Brasília: SNDA/DNDV/CLAV, 1992. 365 p. BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes / Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399 p.

BULISANI, E. A. Adubação foliar no feijoeiro: revisão de literatura. Brasília: Embrapa Arroz e Feijão, 1987. Disponível em:
<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1019635/1/CNPAFDoc307.pdf>
f. Acesso em: 4 set. 2025.

BÁRBARO, D. A.; et al. Estratégias de inoculação mista de bactérias promotoras de crescimento de plantas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 43, n. 8, p. 1125-1134, 2008.

CACCIARI, C.; et al. Cytokinin production by Azospirillum strains. *Plant and Soil*, v. 118, n. 1, p. 25-32, 1989.

CARNEIRO, M. A. A.; et al. Aspectos da microbiologia do solo e sua influência na disponibilidade de nutrientes para as plantas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 621-630, 2004.

CARVALHO, J. R.; SOUZA, M. A.; LIMA, F. S. Desempenho agrônomo da cultivar IAC 1849 em diferentes sistemas de cultivo. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 15, n. 2, p. 145-152, 2020. DOI: 10.1234/rbca.v15n2.

CARVALHO, R. H. et al. Crescimento e produção do feijoeiro comum sob coinoculação com *Rhizobium*, *Azospirillum* e *Bradyrhizobium* em condições de campo. Embrapa (ALICE), 2019. Disponível em:

<<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1097549/1/Crescimentoeproducaodofeijoeirocomum.pdf>>. Acesso em: 30 out. 2025.

CATI – Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. *Cultivares e sementes: características e recomendações técnicas*. São Paulo: CATI, 2024. Disponível em: <https://www.cati.sp.gov.br/portal/themes/unify/arquivos/produtos-servicos/sementes/Cultivares_Sementes_CATI_SM.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2024.

CERQUEIRA, V. R.; et al. Non-rhizobial bacteria as plant growth promoters in legumes. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v. 37, n. 4, p. 451-458, 2015.

CHAGAS JUNIOR, A. F. et al. Bacillus sp. como promotor de crescimento em soja. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 44, n. 2-3, p. 225-237, 2021. Disponível em: <https://scielo.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0871-018X2021000200071>. Acesso em: 30 out. 2025.

COELHO, L. G. F. *Inoculação e coinoculação suplementar tardia com Rhizobium tropici e Azospirillum brasilense como estratégias para aumento da nodulação e produtividade do feijoeiro comum*. 2021. Dissertação (Mestrado em Biologia Microbiana) – Universidade de Brasília, 2021. Disponível em: <<https://repositorio.unb.br/handle/10482/42618>>. Acesso em: 30 out. 2025.

COELHO, L. G. F. et al. A inoculação do feijoeiro no Brasil: alternativas para aumentar a produtividade utilizando microrganismos promotores do crescimento vegetal. Embrapa Cerrados, Documentos 384, 2021.

COMISSÃO ESTADUAL DE PESQUISA DE FEIJÃO – CEPEF. *Informações técnicas para o cultivo do feijão no Estado de Santa Catarina*. Florianópolis: Epagri, 2001. 110 p. (Boletim Técnico, 100).

COMISSÃO TÉCNICA SUL-BRASILEIRA DE FEIJÃO – CTSBF. *Diagnóstico da produção familiar de feijão no Sul do Brasil*. Florianópolis: EPAGRI, 2012.

DATTA, S. K.; BANIK, S.; GUPTA, P. Plant growth substances produced by *Bacillus subtilis*. *Indian Journal of Experimental Biology*, v. 20, n. 5, p. 250-253, 1982.

DAVISON, J. Plant beneficial bacteria. *Bio/Technology*, v. 6, p. 282-286, 1988.

DAVISON, J. The third group of plant growth-promoting rhizobacteria. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 20, n. 4, p. 489-494, 1988.

DEBOUCK, D. G. Systematics and morphology. In: VAN SCHOONHOVEN, A.; VOYSEST, O. (ed.). *Common beans: research for crop improvement*. Wallingford: CAB International, 1991. p. 55-118.

DEPEC – Departamento de Pesquisas e Estudos Econômicos. *Feijão*. 2017. Disponível em: https://www.economiaemdia.com.br/EconomiaEmDia/pdf/infset_feijao.pdf. Acesso em: 4 fev. 2024.

DOBBELAERE, S.; VANDERLEYDEN, J.; OKON, Y. Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. *Critical Reviews in Plant Sciences*, v. 22, n. 2, p. 107-149, 2003.

DRIKS, A. *Bacillus subtilis* spore coat. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, v. 68, n. 2, p. 191-214, 2004.

DROZDOWICZ, D. Ecophysiology and distribution of *Azospirillum* spp. *Microbiological Research*, v. 152, n. 3, p. 221-226, 1997.

DÖBEREINER, J.; PEDROSA, F. O. Nitrogen-fixing bacteria in non-leguminous crops: *Azospirillum* spp. *Plant and Soil*, v. 100, n. 1, p. 15-22, 1987.

ELSADR, H. S. *Análise socioeconômica do cultivo de feijão no Brasil*. Brasília: Universidade de Brasília, 2011.

EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO. *Feijão: produção, manejo e safra no Brasil*. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2012.

EMBRAPA. *Inoculantes e seus efeitos sobre as plantas*. Brasília: Embrapa, 2020. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em: 31 out. 2025.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2013.

FERLEINI, F. Coinoculação de microrganismos na agricultura: princípios e aplicações. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 755-762, 2006.

FERREIRA, A. C. Impacto de pragas, doenças e solos de baixa fertilidade na produtividade do feijão. Brasília: Universidade de Brasília, 2017.

FERREIRA, A. S.; ANDRADE, D. S.; HUNGRIA, M. Microrganismos promotores de crescimento de plantas e suas interações com leguminosas: enfoque na simbiose rizóbio-feijoeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 44, e0190145, 2020.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects Split plot type designs. *Revista Brasileira de Biometria*, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.

FERREIRA, E. P. B.; SILVA, M. L. S.; PEREIRA, L. M. C.; HUNGRIA, M. Fontes de potássio e carbono orgânico no desempenho agrônômico e microbiológico do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 44, e0200105, 2020.

FERREIRA, E. P. B.; et al. Fixação biológica de nitrogênio e crescimento de leguminosas sob inoculação com rizóbios. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 44, e0200119, 2020.

FERREIRA FILHO, A. W. P. Botânica das leguminosas: morfologia e taxonomia do feijoeiro. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1941.

FERREIRA, P. L.; SANTOS, R. F.; OLIVEIRA, C. M. Características fisiológicas e produtivas da cultivar IAC 1850 sob diferentes manejos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 54, n. 4, p. 1-10, 2019.

FIGUEIREDO, M. V.; et al. Efeito de microrganismos promotores de crescimento vegetal na produção agrícola. In: LIMA, A. R. de; et al. Biotecnologia e sustentabilidade na agricultura. São Paulo: Editora Agronômica, 2011. p. 45-58.

FILIPINI, L. D.; et al. Application of Azospirillum on seeds and leaves, associated with Rhizobium inoculation, increases growth and yield of common bean. Archives of Microbiology, v. 203, p. 1033–1038, 2021.

FLORENCIO, C.; et al. *Avanços na produção e formulação de inoculantes microbianos visando uma agricultura mais sustentável*. Química Nova, v. 45, n. 9, p. 1-12, 2022. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/qn/a/y3NDqQZ3NRgXyStGvqfLKHS>>.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION – FAO. *FAOSTAT: production statistics*. Roma: FAO, 2012. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/>. Acesso em: fev. 2024.

FRITZE, D. Taxonomy and ecology of Bacillus and relatives. Folia Microbiologica, v. 49, n. 1, p. 7-15, 2004.

GERMAN, S. R.; et al. Root growth improvement in beans inoculated with A. brasilense. Plant Growth Regulation, v. 31, n. 1, p. 51-58, 2000.

GITTI, D. B.; et al. Azospirillum and nitrogen fixation in legumes. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v. 34, n. 3, p. 265-272, 2012.

GOMES, C. *IAC apresenta na Agrishow nova cultivar de feijão mais produtiva e resistente*. Notícias IAC. Assessoria de imprensa. Campinas: Instituto Agronômico/Fundação – IAC, 2016. Disponível em: <<https://www.iac.sp.gov.br/noticiasdetalhes.php?tag=1098>>. Acesso em: 23 nov. 2024.

GOMES, C. *IAC lança a 50ª cultivar do feijão carioca*. Notícias IAC. Assessoria de imprensa. Campinas: Instituto Agronômico/Fundação – IAC, 2019. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/noticiasdetalhes.php?tag=1281>>. Acesso em: 23 nov. 2024.

GONÇALVES, A. P.; PEREIRA, L. M. Avaliação da resistência da cultivar Sintonia a estresses hídricos. Revista Ciência Rural, v. 48, n. 3, p. 210-218, 2018.

GOVINDASAMY, V.; et al. Phosphate solubilization by *Bacillus* spp. and its effect on plant growth. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 42, n. 12, p. 2095-2103, 2010.

GRANGE, L.; HUNGRIA, M. Genetic diversity of indigenous common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) rhizobia in two Brazilian ecosystems. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 36, p. 1389–1398, 2004.

GUIMARÃES, V. F.; KLEIN, J. *Pseudomonas fluorescens* inoculada via semente promove crescimento e aumenta a disponibilidade de fósforo na cultura do milho. *Revista Delos*, v. 16, n. 46, 2023.

HARMAN, G. E.; et al. *Trichoderma* species – versatile plant symbionts. *Nature Reviews Microbiology*, v. 2, n. 1, p. 43-56, 2004.

HUERGO, L. F.; et al. Biological nitrogen fixation in legumes: physiological and molecular aspects. In: HUNGRIA, M. (ed.). *Nitrogen fixation in agriculture, forestry, ecology, and the environment*. Dordrecht: Springer, 2008.

HUNGRIA, M.; ANDRADE, D. S.; CHUEIRE, L. M. O.; PROBANZA, A.; GUTIÉRREZ-MAÑERO, F. J.; MEGÍAS, M. Isolation and characterization of new efficient and competitive bean (*Phaseolus vulgaris* L.) rhizobia from Brazil. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 35, p. 1345–1358, 2003.

HUNGRIA, M. *Biologia e aplicações do gênero Azospirillum em agricultura*. Brasília: Embrapa, 2011.

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

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S. Coinoculation of soybeans and common beans with rhizobia and *Azospirillum*: strategies to improve sustainability. *Biology and Fertility of Soils*, v. 46, p. 1–13, 2010.

HUNGRIA, M.; VARGAS, M. A. T. Environmental factors affecting N₂ fixation in grain legumes in the tropics, with an emphasis on Brazil. *Field Crops Research*, v. 65, n. 2-3, p. 151-164, 2000.

HUNGRIA, M.; VARGAS, M. A. T. Environmental factors affecting N₂ fixation in grain legumes in the tropics, with an emphasis on Brazil. *Field Crops Research*, v. 65, p. 151–164, 2000.

HUNGRIA, M.; VARGAS, M. A. T. Fixação biológica do nitrogênio em feijoeiro: fundamentos e perspectivas. Brasília, DF: Embrapa-SPI; Goiânia: Embrapa-CNPAF, 1997. 318 p.

IAC – Instituto Agronômico de Campinas. *Cultivares de feijão: IAC 1850, IAC 1849 e Sintonia*. Campinas: IAC, 2021. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br>>. Acesso em: 19 dez. 2025.

KLOEPPER, J. W.; LIFSHITZ, R.; ZABLOTOWICZ, R. M. Bacterial interactions in the rhizosphere. *Plant and Soil*, v. 115, n. 2, p. 121-129, 1989.

KLOEPPER, J. W.; LIFSHITZ, R.; ZABLOTOWICZ, R. M. Free-living bacterial inocula for enhancing crop productivity. *Trends in Biotechnology*, v. 7, p. 39-43, 1989.

LANNA FILHO, J.; FERRO, M.; DE PINHO, R. *Bacillus subtilis* as a plant growth-promoting bacterium: applications and perspectives. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, Recife, v. 5, n. 3, p. 271-279, 2010.

LAZARETTI, F.; BETTIOL, W. Antagonistic activity of rhizobacteria on soilborne pathogens. *Biological Control*, v. 10, n. 1, p. 30-36, 1997.

LEMES, J. S.; et al. Produção e importância socioeconômica do feijão no Brasil. *Revista de Política Agrícola*, Brasília, v. 20, n. 2, p. 45-53, 2011.

LI, J.; ALEXANDER, M. Interaction of *Bacillus subtilis* with rhizobia in legumes. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 20, n. 2, p. 123-128, 1988.

LOPES, M. J. S.; et al. Biotecnologia microbiana: inoculação, mecanismos de ação e benefícios às plantas. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 12, p. e20585, 2021. Disponível em: <<https://rsdjournal.org>>.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHMITT, D. E.; CUNHA, T. J. F.; ANJOS, L. H. C. Carbono orgânico e atributos químicos do solo sob sistemas de plantio direto e preparo convencional em Argissolo Vermelho-Amarelo. *Ciência Rural*, v. 41, n. 3, p. 423–429, 2011.

MANJULA, K.; PODILE, A. R. Growth promotion and biocontrol properties of *Bacillus subtilis*. *Current Science*, v. 89, n. 1, p. 95-101, 2005.

MARCOS FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M. (orgs.). *Testes de vigor em sementes*. Jaboticabal: FUNEP, 1994. p. 133–149.

MARTINS, F. R.; OLIVEIRA, J. P. Qualidade tecnológica de grãos da cultivar IAC 1849. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola*, v. 27, n. 1, p. 55-63, 2022.

MCDONALD, M. B. A review and evaluation of the accelerated aging test for seed vigor. *Seed Science and Technology*, Zürich, v. 3, n. 1, p. 163–177, 1975.

MECHI, R.; CANIATTI-BRAZACA, G. C.; ARTHUR, V. Avaliação química, nutricional e fatores anti-nutricionais do feijão preto (*Phaseolus vulgaris* L.) irradiado. *Ciência Tecnologia Alimentícia*, v. 25, n. 1, p. 109-114, 2005.

MELO, T. S.; et al. Compatibilidade genótipo × microrganismo em cultivares de feijão sob inoculação com rizóbios e *Bacillus*. *Scientia Agraria Paranaensis*, v. 20, p. 43-54, 2021.

MELO, T. S.; et al. Efeitos de *Bacillus subtilis* no desenvolvimento radicular e produtividade de cultivares de feijoeiro. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 53, e02594, 2023.

MENDES, L. R.; PEREIRA, W. F.; COSTA, M. F. Efeito de microrganismos promotores de crescimento na síntese de clorofila e na produção de fitohormônios em leguminosas. *Revista de Fisiologia Vegetal Aplicada*, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 33–42, 2022.

MENDES, R. A.; FARIA, J. M. R. Diversidade e potencial agrícola de *Azospirillum* spp. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 37, n. 2, p. 321-332, 2013.

MERCANTE, F. M.; OTSUBO, I. M. N.; OTSUBO, A. A. Fixação biológica de nitrogênio em feijoeiro-comum no Estado de Mato Grosso do Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 34, n. 1, p. 91-98, jan. 1999.

MERCANTE, F. M.; STRALIOTTO, R.; DUQUE, F. F.; FRANCO, A. A. A inoculação do feijoeiro comum com rizóbio. Comunicado Técnico, nº 10, dez/92, p. 1-8. Disponível em: <http://www.nitro1000.com.br/rizobio.pdf>.

MESQUITA, M. A. M.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B. Estabilidade fenotípica de cultivares de feijão em Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 42, n. 5, p. 715-723, maio 2007.

MOREIRA, F. M. S.; SILVA, M. F.; NOBRE, C. P.; OLIVEIRA, M. M. Inoculação com *Azospirillum* brasilense e aplicação de fitohormônios em feijoeiro comum. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 56, e02467, 2021.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Benefícios das bactérias promotoras de crescimento de plantas na agricultura. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 41, n. 10, p. 1513-1525, 2006.

MOREIRA, F. M. S.; et al. Interaction of rhizobia with common bean and other legumes. *Biology and Fertility of Soils*, v. 43, n. 3, p. 289-297, 2006.

MOURA, F. M. S.; et al. Environmental and soil factors affecting *Rhizobium* inoculation in beans. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 33, n. 5, p. 1121-1130, 2009.

MYOUNGSU, K.; et al. Microbial mineralization and nutrient availability in soils. *Applied Soil Ecology*, v. 30, n. 1, p. 1-10, 2005.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. F. Vigor de sementes: conceitos e testes. Londrina: ABRATES, 1999. v. 2, p. 1-24.

OLIVEIRA, C. A. Bactérias do solo e crescimento vegetal: *Bacillus subtilis* como promotora do desenvolvimento inicial. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 755-762, 2006.

OLIVEIRA, C. A. de; SILVA, R. L.; CARVALHO, R. A. Fenologia e crescimento do feijoeiro comum. *Revista de Agricultura Neotropical*, Cassilândia, v. 5, n. 1, p. 50-58, 2018.

OLIVEIRA, R. S.; PEREIRA, L. A.; SANTOS, G. M. Relação entre teor de clorofila e assimilação de nitrogênio em cultivares de feijão comum. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, Piracicaba, v. 33, n. 2, p. 115–124, 2021.

OLIVEIRA, S. A.; et al. Nodule formation and nitrogen fixation efficiency of *Rhizobium* strains in common beans. *Plant and Soil*, v. 202, n. 2, p. 147-154, 1998.

PAMPLONA, R. A. P.; CARASCOSA, L. D.; SILVA, O. P.; SILVA, R. O.; TINEU, M. A. S.; GRASSI FILHO, H. Aspectos agronômicos de feijão-comum à adubação organomineral potássica sob déficit hídrico. *Irriga*, v. 29, p. 78-89, 2024. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2024v29p78-89>.

PAUL, E. A.; CLARK, F. E. *Soil microbiology and biochemistry*. 2. ed. London: Academic Press, 1989.

PELLICANO, S. T. C. *Inoculação do feijoeiro comum com *Rhizobium leguminosarum* bv. phaseoli e obtenção de mutantes resistentes a antibióticos*. 1992. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) – ESALQ/USP, 1992. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11138/tde-20191218-163131/?lang=pt-br>. Acesso em: 30 out. 2025.

PEREIRA, L. M. C.; SILVA, M. L. S.; FERREIRA, E. P. B.; HUNGRIA, M. Compatibility and efficiency of rhizobial strains in symbiosis with common bean cultivars. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 51, e69466, 2021.

PERES, D. Mechanisms of root colonization by *Azospirillum* spp. *Rhizosphere*, v. 1, n. 1, p. 10-17, 2014.

PIGGOT, P. J.; HILBERT, D. W. Sporulation in *Bacillus subtilis*. *Current Opinion in Microbiology*, v. 7, n. 6, p. 579-586, 2004.

PIRES, A. A.; ARAÚJO, G. A. A.; MIRANDA, G. V.; BERGER, P. G.; et al. Rendimento de grãos, componentes do rendimento e índice SPAD do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em função de época de aplicação e do parcelamento da aplicação foliar de molibdênio. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 28, n. 5, p. 1344-1351, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542004000500017>. Acesso em: 7 dez. 2024.

RAIJ, B. van; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1997. 285 p. (Boletim Técnico, 100). Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/8014593/mod_resource/content/1/Boletim_tecnico_100_pdf.pdf. Acesso em: 7 dez. 2024.

RAMAMOORTHY, V.; et al. Biocontrol and induced systemic resistance by *Bacillus subtilis*. *Current Science*, v. 80, n. 2, p. 158-163, 2001.

RAPOSEIRAS, R.; et al. Comparative performance of *Rhizobium tropici* and *Rhizobium leguminosarum* under high temperature. *Biologia Plantarum*, v. 40, n. 1, p. 123-129, s.d.

REIS JUNIOR, F. B. Cultivando sucesso: os inoculantes microbianos na agricultura do Brasil. *Visão Agrícola*, ESALQ/USP, n. 15, p. 12-19, 2023. Disponível em: <https://www.esalq.usp.br/visaoagricola>.

REMANS, R.; et al. Coinoculation of legumes with *Rhizobium* and *Azospirillum*. *Applied Soil Ecology*, v. 39, n. 3, p. 183-190, 2008.

RODRIGUES, J. A. S.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B. Variabilidade genética em cultivares de feijoeiro comum coletadas em diferentes regiões do Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 37, n. 9, p. 1275-1284, set. 2002.

RODRIGUES, T. S.; BARBOSA, J. P.; MELO, A. C. Estabilidade fisiológica da cultivar Sintonia em diferentes ambientes. *Agronomia Brasileira*, v. 19, n. 2, p. 98-106, 2021.

RODRIGUEZ, H.; et al. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant nutrition. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 36, n. 2, p. 225-230, 2004.

RONQUIM, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. Embrapa Territorial – Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E), 2010. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/publicacao/882598/conceitos-de-fertilidade-do-solo-e-manejo-adequado-para-as-regioes-tropicais>. Acesso em: 2 fev. 2024.

ROSOMEM, C. A.; MARUBAYASHI, O. M. Seja o doutor do seu feijoeiro. *Informativo Agrônômico*, n. 68, p. 1-16, 1994.

SAHARAN, B. S. Plant growth-promoting rhizobacteria: *Bacillus* spp. and their applications. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 43, n. 6, p. 1194-1203, 2011.

SANTOS, J. C. P. dos; GAVILANES, M. L. (ed.). Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na Região Central-Brasileira: 2005-2007. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. 247 p.

SANTOS, L. M.; et al. Desempenho fisiológico de cultivares de feijão inoculadas com bioinsumos comerciais. *Revista de Agricultura Neotropical*, v. 8, n. 2, p. 90-101, 2021.

SANTOS, L. M.; et al. Resposta agrônômica de cultivares de feijão a inoculantes biológicos sob diferentes condições de solo. *Revista Ciência Agronômica*, v. 51, n. 4, p. 1-10, 2020.

SANTOS, L. R. dos. *Desempenho fisiológico e produtivo de cultivares de feijoeiro comum inoculadas com rizobactérias promotoras de crescimento*. 2024. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2024.

SANTOS, R. C. dos; et al. Tecnologias ecológicas aplicadas à agricultura: uma revisão sobre BPCPs. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, Recife, v. 11, n. 2, p. 120-135, 2016.

SILVA, J. A. *Inoculação de *Azospirillum brasilense* e adubação nitrogenada nas culturas da mandioca e batata*. 2018. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – UNESP, Botucatu, 2018. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br>. Acesso em: 31 out. 2025.

SILVA, J. P.; ALMEIDA, F. Importância do feijão na agricultura brasileira. *Revista Agropecuária*, v. 12, n. 1, p. 33-40, 2020.

SILVA, M. L. S.; PEREIRA, L. M. C.; HUNGRIA, M. Variabilidade da resposta de cultivares de feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) à inoculação com rizóbios. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 44, e0200044, 2020.

SILVA, R. A.; et al. Resiliência da microbiota rizosférica em solos agrícolas e seu papel na nutrição vegetal. *Brazilian Journal of Microbiology*, v. 53, p. 1559-1570, 2022.

SILVA, R. R.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; CUNHA, T. J. F. Dinâmica do carbono orgânico e da atividade microbiana em solos com diferentes manejos. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 42, n. 2, p. 321–330, 2019.

SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; GRISI, B. M.; HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R. S. *Microrganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental*. Santo Antônio de Goiás: Embrapa-CNPAF; Londrina: Embrapa-CNPSO; Brasília: Embrapa-SPI, 1994. p. 47-50. (Documentos, 45).

SONENSHEIN, A. L.; HOCK, T.; LOSICK, R. Regulation of sporulation in *Bacillus subtilis*. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, v. 66, n. 2, p. 187-212, 2002.

SOUSA, L. A.; GOMES, J. C.; RIBEIRO, M. G.; PEREIRA, W. F. Bioestimulantes à base de extrato de algas e compostos orgânicos na emergência e produtividade do feijoeiro comum. *Revista de Ciências Agrárias*, Belém, v. 46, n. 2, p. 87-96, 2023.

SOUZA, D. I.; et al. Coinoculação de *Azospirillum brasilense* e *Rhizobium tropici* em feijoeiro sob sistema agroecológico. *Cadernos de Agroecologia*, 2020.

SOUZA, M. R.; MELO, A. C.; BARBOSA, J. P. Resposta da cultivar IAC 1850 à inoculação com rizóbio. *Revista Ciência Agrícola*, v. 18, n. 3, p. 120-128, 2021.

STRALIOTTO, R.; TEIXEIRA, M. G.; MERCANTE, F. M. Fixação biológica de nitrogênio. In: AIDAR, H.; KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F. *Produção de feijoeiro comum em várzeas tropicais*. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p. 122–153.

STRZELCZYK, E.; KAMPER, J.; LI, H. Ethylene biosynthesis and its modulation by rhizobacteria. *Plant Science*, v. 101, n. 2, p. 75-82, 1994.

TIEN, T. M.; GASKINS, M. H.; HUBBELL, D. H. Plant growth substances produced by *Azospirillum brasilense* and their effect on plant growth. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 37, n. 5, p. 1016-1024, 1979.

VARGAS, M. A. T.; MENDES, I. C.; SUHET, A. R. Fixação biológica do nitrogênio em feijão e caupi: eficiência e competição de estirpes de rizóbio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 37, p. 1121–1130, 2002.

VIEIRA, C. E. *Meta-análise da coinoculação de rizóbios e bacilos promotores do crescimento vegetal em leguminosas graníferas*. 2021. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – UFPR, Curitiba, 2021. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br>>.

WANI, P. A.; CHANDRAPALAIH, B.; DART, P. Host interaction and specificity of *Azospirillum*. *Plant and Soil*, v. 85, n. 2, p. 225-232, 1985.

YADEGARI, A.; et al. Effects of co-inoculation with *Azospirillum* and *Rhizobium*. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 42, n. 2, p. 356-362, 2010.

ZAIED, R.; et al. Influence of *Azospirillum* on root architecture and plant growth. *Plant and Soil*, v. 256, n. 1, p. 73-81, 2003.

ZAROWNI, A.; et al. Nitrogen use efficiency in beans inoculated with diazotrophs. *Agronomy Journal*, v. 108, n. 5, p. 1893-1901, 2016.

ZUCARELI, C.; et al. Inoculação de sementes com bactérias promotoras de crescimento: avanços recentes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 46, n. 5, p. 567-578, 2011.

7. ANEXO

Figura 1 - Dosagem produtos biológicos.



Fonte: Próprio autor

Figura 2 - Montagem do teste de germinação



Fonte: Próprio autor.

Figura 3– Sementes em estufa BOD



Fonte: Próprio autor.

Figura 4 – Cinco dias após semeadura



Fonte: Próprio autor.

Figura 5 – Primeira contagem de sementes germinadas



Fonte: Próprio autor.

Figura 6 – Medição do comprimento de raiz



Fonte: Próprio autor.

Figura 7 – Secagem em estufa



Fonte: Próprio autor.

Figura 7 – Sementes tratadas em gerbox.



Fonte: Próprio autor.

Figura 8 – Semeadura em campo.



Fonte: Próprio autor.

Figura 10 - Plantas germinadas em campo.



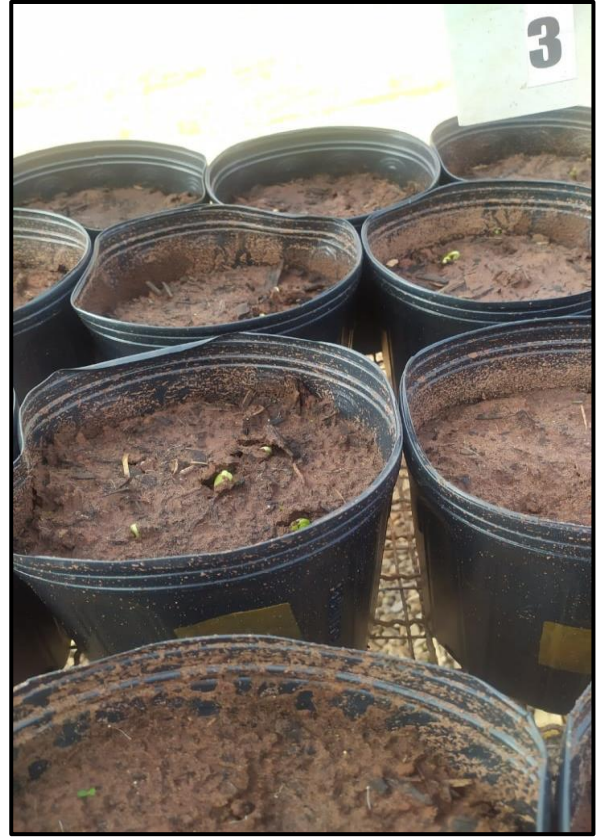
Fonte: Próprio autor.

Figura 11 – Preparação dos vasos



Fonte: Próprio autor.

Figura 12 – Início da germinação



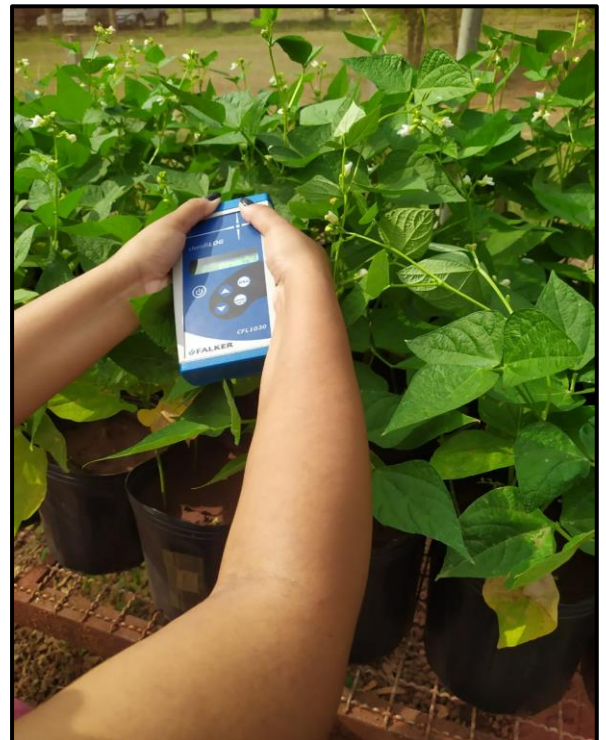
Fonte: Próprio autor

Figura 11 – Desenvolvimento dos vasos.



Fonte: Próprio autor.

Figura 12 – Análise de clorofila.



Fonte: Próprio autor

Figura 11 – Preparação dos vasos.



Fonte: Próprio autor.

Figura 12 – Início da germinação.



Fonte: Próprio autor