

UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA
Autorização Decreto nº 9237/86. DOU 18/07/96. Reconhecimento:
Portaria 909/95, DOU 01/08-95
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIAS E CIÊNCIAS SOCIAIS
CAMPUS III – JUAZEIRO



HEMBRILE RAQUEL EVANGELISTA DIAS

**POTENCIAL DE MICRORGANISMOS PROMOTORES DE CRESCIMENTO EM PLANTAS
DE FEIJÃO- CAUPI**

**Juazeiro- BA
2025**

HEMBRILE RAQUEL EVANGELISTA DIAS

**POTENCIAL DE MICRORGANISMOS PROMOTORES DE CRESCIMENTO EM PLANTAS
DE FEIJÃO- CAUPI**

Monografia apresentada à Universidade do Estado da Bahia, Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais, UNEB/DTCS Campus III, colegiado de Engenharia Agrônômica como pré-requisito para a disciplina Trabalho de Conclusão de Curso – TCC.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª Lindete Mária Vieira Martins

Coorientadores:

Dr^ª Adriana Bezerra dos Santos

Eng. Agr. Bruno

Gabriel Amorim Barros

Juazeiro- BA

2025

HEMBRILE RAQUEL EVANGELISTA DIAS

**POTENCIAL DE MICRORGANISMOS PROMOTORES DE
CRESCIMENTO EM PLANTAS DE FEIJÃO- CAUPI**

Monografia aprovada como pré-requisito parcial à obtenção ao grau de Bacharel em Engenharia Agrônômica no curso de graduação em Engenharia Agrônômica do Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais da Universidade do Estado da Bahia.


Aprovado em 22/12/2025.

BANCA EXAMINADORA




Documento assinado digitalmente
LINDETE MIRIA VIEIRA MARTINS
Data: 31/12/2025 09:08:11-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof.ª Dr.ª Lindete Míria Vieira Martins (Presidente/Orientadora)
Universidade do Estado da Bahia – Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais-III

Documento assinado digitalmente
 **PAULO ROBERTO BARBOSA DE JESUS JUNIOR**
Data: 30/12/2025 07:46:06-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Mestrando Paulo Roberto B. De Jesus Júnior (Primeiro examinador)
Universidade do Estado da Bahia – Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais-III

Documento assinado digitalmente
 **LAYSLENE LEAL DE CARVALHO**
Data: 29/12/2025 21:56:56-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Mestranda Layslene Leal de Carvalho (Segundo examinador)
Universidade do Estado da Bahia – Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais-III

**JUAZEIRO
2025**

Dedico este trabalho aos meus pais e avós, com profunda gratidão por todo o amor, apoio, incentivo e ensinamentos ao longo da minha trajetória. A presença, os valores e a confiança de vocês foram essenciais para que este sonho se tornasse realidade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, meu Pai, que sempre está comigo em todos os momentos, e a quem tudo é para a glória Dele.

Ao meu marido, Gabriel, que sempre me apoia e acompanhou toda essa jornada, me encorajando e acreditando no meu sucesso. Você é o melhor marido que Deus poderia me conceder a honra de viver a trajetória da vida.

À minha querida mãe, Michele, por sempre me apoiar e acreditar na minha capacidade. Tenho muito orgulho de ser sua filha. Você é a mulher mais guerreira e dedicada que conheço.

Ao meu pai, que sempre apoiou meus estudos e se dedicou ao máximo para sustentar nossa família. Tenho orgulho do senhor e muita gratidão em meu coração.

À minha voinha, dona Joana, que desde sempre me levava à escola e que sempre sonhou com a minha formação na universidade. Tenho muito orgulho da mulher de fé que a senhora é, por orar sempre pela nossa família e se dedicar com tanto amor e carinho a todos nós.

Ao meu voinho, por ter sido um dos meus maiores apoiadores em todas as áreas da minha vida, especialmente nos estudos. Obrigada por tudo, pelo zelo comigo, por acreditar em mim e por sempre estar presente na minha vida.

Aos meus irmãos, Hemile, Samuel e Wallace, que acompanham desde sempre toda a minha trajetória, me apoiando, acreditando em mim e se alegrando com as minhas conquistas.

Aos meus colegas de curso, em especial Luiza e Crislaine, que tornaram o curso mais leve e divertido, me ajudando e alegrando meus dias acadêmicos.

À minha orientadora, Lindete Mária Vieira Martins, pela orientação, pelos conselhos, por ser uma mulher incrível e admirável, e por ter me recebido com tanto amor e zelo.

A toda a equipe do LAMISO, meu muito obrigada. Em especial ao Bruno, que me auxiliou com paciência e dedicação, sempre disposto a ajudar no desenvolvimento deste trabalho.

À UNEB, por toda a rede de apoio, e à banca examinadora, por aceitar o convite.

RESUMO

O feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] é uma cultura de grande importância socioeconômica, adaptada a condições semiáridas e com um papel crucial na segurança alimentar. Sua capacidade de fixar nitrogênio biologicamente já contribui para a sustentabilidade, mas o potencial produtivo pode ser otimizado. Assim, o presente estudo objetivou avaliar os efeitos da inoculação de microrganismos promotores de crescimento (MPCs) no desenvolvimento inicial do feijão-caupi (cultivar BRS Acauã) na região semiárida do Vale do São Francisco. O experimento foi realizado em casa de vegetação pertencente ao Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais da Universidade do Estado da Bahia (UNEB/DTCS), Campus III, em Juazeiro – BA. O delineamento experimental utilizado foi em Blocos Casualizados (DBC). Foram utilizados 4 microrganismos (*Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus aryabhattai* e *Trichoderma* spp) de forma isolada e combinadas. As variáveis avaliadas foram o número de folhas, número de vargens, comprimento da parte aérea, comprimento da raiz, massas frescas e secas da raiz e parte aérea, área foliar, número de nódulos e volume da raiz. Os resultados aos 46 dias após a emergência indicaram que as variáveis da parte aérea não apresentaram diferenças estatísticas significativas. No entanto, o sistema radicular demonstrou maior resposta: O tratamento com *Bacillus subtilis* promoveu o maior aumento na massa fresca e seca das raízes, indicando maior eficiência na exploração do solo. O número de nódulos (NN) revelou destaque para os tratamentos contendo *Bacillus aryabhattai* e *Azospirillum brasilense*, sugerindo maior potencial para fixação biológica de nitrogênio. Dessa forma, os MPCs, em especial *B. subtilis*, *B. aryabhattai* e *A. brasilense*, são bioinsumos promissores para o manejo sustentável do feijão-caupi, por estimularem o desenvolvimento radicular e a nodulação em estágios iniciais.

Palavras-chaves: *Azospirillum brasilense*; *Bacillus subtilis*; Desenvolvimento radicular.

Fixação Biológica de Nitrogênio; Nodulação.

ABSTRACT

Cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] is a crop of great socioeconomic importance, adapted to semi-arid conditions and playing a crucial role in food security. Its ability to fix nitrogen biologically already contributes to sustainability, but its productive potential can be optimized. Thus, this study aimed to evaluate the effects of inoculation with growth-promoting microorganisms (GPMs) on the initial development of cowpea (cultivar BRS Acauã) in the semi-arid region of the São Francisco Valley. The experiment was conducted in a greenhouse belonging to the Department of Technology and Social Sciences of the State University of Bahia (UNEB/DTCS), Campus III, in Juazeiro – BA. The experimental design used was a Randomized Complete Block Design (RCBD). Four microorganisms (*Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus aryabhattai*, and *Trichoderma* spp.) were used individually and in combination. The variables evaluated were the number of leaves, number of pods, shoot length, root length, fresh and dry mass of roots and shoots, leaf area, number of nodules, and root volume. The results at 46 days after emergence indicated that the shoot variables did not show statistically significant differences. However, the root system showed a greater response: The treatment with *Bacillus subtilis* promoted the greatest increase in fresh and dry root mass, indicating greater efficiency in soil exploration. The number of nodules (NN) highlighted the treatments containing *Bacillus aryabhattai* and *Azospirillum brasilense*, suggesting greater potential for biological nitrogen fixation. Thus, MPCPs, especially *B. subtilis*, *B. aryabhattai*, and *A. brasilense*, are promising bio-inputs for the sustainable management of cowpea, as they stimulate root development and nodulation in early stages.

Keywords: *Azospirillum brasilense*; *Bacillus subtilis*; Root development; Biological nitrogen fixation; Nodulation.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – Condução experimental dos vasos distribuidos em casa de vegetação do DTCS 16.
- Figura 2** - Condução experimental dos vasos distribuidos em casa de vegetação do DTCS 17.
- Figura 3** – Desenvolvimento de plantas de feijão-caupi inoculadas com microrganismos promotores de crescimento.....22.
- Figura 4** - Desempenho dos tratamentos na massa seca da raiz em Feijão-Caupí23.
- Figura 5** - Desempenho dos tratamentos na massa fresca da raiz em Feijão-Caupí.....24.
- Figura 6** - Desempenho dos tratamentos no número de nódulos em Feijão-Caupí25.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição química e física de amostra representativa de um Neossolo Flúvico no município de Juazeiro – BA (2025).	14.
Tabela 2 - Descrição dos tratamentos utilizados no experimento.....	15.
Tabela 3 - Médias das variáveis que não apresentaram diferença estatística significativa entre os tratamentos.....	20.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12.
2.1 MATERIAL E MÉTODOS.....	14.
2.1 Localização e caracterização edafoclimática da área experimental	14.
2.2 Desenho experimental.....	15.
2.3 Cultivar utilizada, inoculação e semeadura.....	16.
2.4 Condução do experimento e tratos culturais	17.
2.5. Comprimento de Parte Aérea (CPA) e raiz (CR)	18.
2.6. Massas Frescas e Secas da Parte Aérea (MFPA) e (MSPA) e Raízes (MFR) e (MSR)	18.
2.7. Número de nódulos (NN), Volume da raiz (VR)	18.
2.8. Número de folhas(NF), Número de vagens(NV)	19.
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	19.
3.1 Número de folhas, Número de vagens, Massa fresca da parte aérea, Massa seca da parte aérea, Comprimento de raiz, volume da raiz.....	19.
3.2. Massa seca da raiz, Massa fresca da raiz, Número de nódulos.....	23.
4. CONCLUSÕES.....	26.
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27.

INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), conhecido também como feijão-de-corda ou feijão-fradinho, é uma leguminosa de extrema importância socioeconômica, especialmente nas regiões Norte e Nordeste do Brasil.

Originário da África, esse grão chegou ao país no século XVI, trazido por navios que aportavam na Bahia (Nascimento, 2011). Nutricionalmente, o feijão-caupi é uma fonte rica em proteínas, minerais e fibras, um dos principais componentes da dieta de muitos brasileiros. Estudos indicam que ele contém todos os aminoácidos essenciais, com alta concentração de lisina, embora seja limitante em aminoácidos sulfurados (metionina e cisteína) (Landim *et al.*, 2019). Devido a essa composição, ele tem sido utilizado para o desenvolvimento de novos produtos alimentícios e na biofortificação de grãos, elevando os níveis de ferro, zinco e proteína (Fiorentin *et al.*, 2019).

No Brasil, enquanto o feijão comum concentra sua produção em ambientes com irrigação e chuvas regulares, o feijão-caupi se destaca por sua rusticidade e resistência a estresses ambientais, o que o torna uma cultura estratégica para sistemas agrícolas em regiões semiáridas. Essa adaptação é refletida nos dados de produção da safra 2024/2025, nos quais o país totaliza 616.300 toneladas produzidas em 1.245.300 hectares, resultando em uma produtividade média de 495 kg/ha (Conab, 2024).

No nível regional, estados como Bahia e Alagoas ilustram bem as dinâmicas produtivas desse grão. A Bahia se destaca como o principal estado produtor nacional de feijão-caupi, com 145.200 toneladas em 225.900 hectares e produtividade de 643 kg/ha, superando a média nacional (Conab, 2024). Por sua vez, apesar de uma produção total menor, Alagoas apresenta uma produtividade superior (842 kg/ha em 2.300 hectares), evidenciando que, entre 2023 e 2024, o estado conseguiu otimizar a produção dentro da mesma área cultivada, o que sugere melhorias em práticas de manejo e uso de insumos agrícolas (Conab, 2024).

Bactérias do gênero *Bacillus* e *Azospirillum* atuam como biorreguladores ao sintetizarem fitohormônios, com destaque para o Ácido Indol-3-Acético (AIA). Esse composto promove o alongamento das células radiculares e a formação de raízes secundárias, o que amplia significativamente a área de exploração do solo pela planta,

otimizando a absorção de água e nutrientes (Souza *et al.*, 2021).

Estudos como os de Bashan e de-Bashan (2010) apontam que microrganismos promotores de crescimento ajudam no aumento no volume de raízes finas, na maior absorção de nutrientes e água. Em feijão, esse efeito pode ser observado em estudos com *Azospirillum brasilense*, conforme relatado por Ferreira *et al.* (2019).

Outro ponto é que pesquisas recentes demonstram que *Azospirillum brasilense* atua intensamente na absorção e utilização de nitrogênio, um dos principais fatores limitantes em leguminosas cultivadas em solos pobres ou em ambientes semiáridos. Galindo *et al.* (2022) destacam que essa bactéria potencializa o aproveitamento de N pela planta e favorece maiores rendimentos no campo, mesmo sem alterar a recuperação do fertilizante nitrogenado aplicado.

Resultados experimentais sugerem que *B. aryabhattai* melhora o desempenho fotossintético do feijão-caupi ao preservar pigmentos fotossintéticos e favorecer trocas gasosas, maior eficiência mesmo em condições de estresse hídrico e nutricional. Há evidências de que a presença de *Bacillus aryabhattai* desencadeia alterações positivas no transcriptoma das raízes do feijão-caupi, ativando genes relacionados ao crescimento, absorção de nutrientes e resposta adaptativa ao estresse, o que reforça seu papel como promotora de crescimento vegetal (Sadhukhan *et al.*, 2022).

Estudos evidenciam que fungos pertencentes ao gênero *Trichoderma* desempenham papel expressivo na agricultura moderna, uma vez que apresentam múltiplas funções benéficas às plantas cultivadas. Esses microrganismos são amplamente reconhecidos pela capacidade de reduzir a incidência de diversas doenças, como eficientes agentes de biocontrole. Além disso, contribuem para o desenvolvimento vegetal por mecanismos que incluem estímulo ao crescimento, melhoria da nutrição e fortalecimento das defesas naturais das plantas. Outro aspecto relevante é que esses fungos podem induzir resistência a patógenos, tornando as culturas mais tolerantes a condições adversas e reduzindo a necessidade de defensivos químicos. (Chagas, *et al.*, 2017).

Dessa forma, este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da inoculação de microrganismos promotores de crescimento (*Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus aryabhattai* e *Trichoderma*) no desenvolvimento inicial do feijão-caupi em Juazeiro – BA.

MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização edafoclimática da área experimental

O experimento foi conduzido entre os meses de outubro e novembro de 2025 em casa de vegetação orientada no eixo leste-oeste e possuía 3,5 m de altura, além de medir 10 m de largura por 32 m de comprimento e localizada no Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais, Campus III, da Universidade do Estado da Bahia (DTCS III/UNEB) em Juazeiro – BA (9°24' S e 40°30' W, a 368 metros de altitude). De acordo com Koppen, o clima da região é classificação como do tipo BSh – Semiárido quente.

O solo utilizado no experimento foi um Neossolo Flúvico coletado no município de Juazeiro-BA. Segue abaixo a caracterização química e física do solo. (Tabela 1).

Tabela 1. Composição química e física de amostra representativa de um Neossolo Flúvico no município de Juazeiro – BA (2025).

pH	P	K	Ca	Mg	H + Al	SB	Areia	Silte	Argila
CaCl ₂ mg dm ⁻³ ----- cmolcdm ⁻³ ----- % g dm ⁻³ g kg ⁻¹									
6,2	6,36	0,12	1,9	0,7	0,49	2,72	863	86	51

pH = Potencial hidrogeniônico; P= Fósforo; K= Potássio; Ca = Cálcio; Mg = Magnésio; H = Hidrogênio; Al = Alumínio; SB= Soma de bases.

2.2 Desenho experimental

O delineamento experimental utilizado foi em Blocos Casualizados (DBC), com 13 tratamentos, 4 repetições, totalizando 52 unidades amostrais. O teste estatístico utilizado no experimento foi a Análise de Variância (ANOVA) e o teste de comparação de médias de Scott-Knott, ambos executados no software AgroEstat (Tabela 2). (Figura 1).

Tabela 2. Descrição dos tratamentos utilizados no experimento.

Tratamentos	Descrição
T1	<i>Azospirillum brasilense</i>
T2	<i>Bacillus subtilis</i>
T3	<i>Bacillus aryabhatai</i>
T4	<i>Trichoderma</i>
T5	<i>Azospirillum + Bacillus subtilis</i>
T6	<i>Azospirillum + Bacillus aryabhatai</i>
T7	<i>Azospirillum + Trichoderma</i>
T8	<i>Bacillus subtilis + Bacillus aryabhatai</i>
T9	<i>Bacillus subtilis + Trichoderma</i>
T10	<i>Bacillus aryabhatai + Trichoderma</i>
T11	<i>Azospirillum + Bacillus subtilis + Bacillus aryabhatai + Trichoderma</i>
T12	Controle adubado
T13	Controle negativo (sem adubação)

Fonte. Dias, H.R.E., (2025)

Figura 1. Condução experimental dos vasos distribuidos em casa de vegetação do DTCS.



Fonte: Dias, H.R.E., (2025).

2.3 Cultivar utilizada, inoculação e semeadura

A cultivar selecionada foi BRS, Acauã. Proveniente do banco de recursos genéticos da Embrapa semiárido. Antes do plantio as sementes foram desinfestadas superficialmente com álcool 70% (durante 30s) e hipoclorito de sódio a 2,5% (durante 5 minutos), em seguida foi realizada 10 lavagens com água destilada estéril (ADE) (Vincent, 1970).

Para inoculação foram utilizados produtos comerciais, como *Priestia aryabhatai* - Auras (Nooa), *Bacillus subtilis* - serenade (Bayer), *Azospirillum brasilense* - Azokop (Koppert), *Trichoderma harzianum* - Trichodermil (Koppert). A inoculação foi realizada após o ajuste da densidade óptica e a desinfestação das sementes. Utilizou-se o método de microbiolização, que consiste na aplicação de microrganismos benéficos diretamente sobre as sementes antes da semeadura, com o propósito de promover maior vigor inicial das plântulas, melhor germinação e proteção contra patógenos associados às sementes. Esse método possibilita a colonização precoce da rizosfera por microrganismos promotores de crescimento, que atuam por meio da produção de fitohormônios, mecanismos de biocontrole e solubilização de nutrientes contribuindo

para o desenvolvimento inicial das plantas e podendo reduzir a necessidade de tratamentos químicos (Fiodor et al., 2023; Luz, 1991).

Em seguida, a imersão destas no inóculo por cerca de 20 a 30 minutos. Durante esse período, as células microbianas aderem à superfície da semente, permitindo que o microrganismo colonize a planta desde o início do seu desenvolvimento. Após a imersão, as sementes foram escorridas, secas à sombra e então prontas para o plantio.

2.4 Condução do experimento e tratos culturais

Antes da sementeira, o solo recebeu uma adubação de fundação de Fósforo e Potássio, para todos os tratamentos, exceto o controle negativo. As fontes de adubos utilizadas foram Super Simples (18%) e Cloreto de Potássio (58%), respectivamente.

A necessidade hídrica das plantas era determinada pela diferença entre o peso úmido e seco dos vasos, e, com base nesses valores, calculava-se uma lâmina média de irrigação em milímetros. Essa lâmina era aplicada por um tempo variável, ajustado conforme a demanda do solo até que este atingisse a capacidade de campo.

Exatamente aos 46 dias após a emergência as plantas foram colhidas e submetidas as avaliações biométricas como o número de folhas, número de vagens, comprimento da parte aérea, comprimento de raíz, massas frescas e secas da raízes e parte aérea, área foliar, número de nódulos, volume da raiz (Figura 2).

Figura 2. Condução experimental dos vasos distribuidos em casa de vegetação do DTCS.



Fonte. Dias, H.R.E., (2025).

2.5 Comprimento de Parte Aérea (CPA) e raiz (CR)

O comprimento da parte aérea foi determinado após a remoção das plantas dos vasos, realizando-se o corte na base do caule. Em seguida, com o uso de uma trena, efetuou-se a medição desde o ponto de inserção no solo até o ápice da folha mais alta, garantindo que todo o material vegetativo acima da superfície fosse considerado.

Para a mensuração do sistema radicular, as plantas foram retiradas cuidadosamente dos recipientes, para evitar danos mecânicos às raízes. O solo aderido foi removido por meio de lavagem suave com água corrente até que toda a estrutura radicular ficasse exposta. Após a limpeza completa, o comprimento radicular foi medido a partir do ápice da raiz principal, estendendo-se até a extremidade do último pelo ou ramo radicular visível, assegurando uma avaliação precisa do desenvolvimento subterrâneo.

2.6 Massas Frescas e Secas da Parte Aérea (MFPA) e (MSPA) e Raízes (MFR) e (MSR).

A determinação das massas frescas, tanto da parte aérea quanto das raízes, foi realizada imediatamente após a retirada das plantas da casa de vegetação. Utilizou-se uma balança analítica para garantir precisão nas pesagens.

Para obter as massas secas, as plantas foram inseridas em sacos de papel tipo kraft. Posteriormente, esses recipientes foram colocados em estufa de circulação de ar, mantida a 65 °C por um período de 72 horas. Após a secagem completa, as amostras foram novamente pesadas para registro da massa seca.

2.7 Número de nódulos (NN), Volume da raiz (VR).

Após as raízes serem lavadas, os nódulos foram destacados e contados. Foi utilizado como critério para a escolha de cada nódulo, os que exibiam coloração rosácea ao seu redor. Pois os nódulos com coloração rosácea indicam nódulos fisiologicamente ativos na fixação biológica de nitrogênio. Essa coloração está associada à presença da leghemoglobina, proteína responsável pelo controle da concentração de oxigênio no interior do nódulo, pois permite atividade da nitrogenase. Nódulos esbranquiçados ou esverdeados, por outro lado, geralmente indicam baixa atividade simbiótica ou senescência, sendo menos

eficientes na fixação de nitrogênio (Hungria; Vargas, 2000; Taiz *et al.*, 2017).

Para a obtenção do volume das raízes, estas foram lavadas para a remoção de todo o solo. Em seguida, um béquer foi preenchido com um volume conhecido de água, e as raízes foram totalmente submersas para a determinação do volume radicular.

2.8 Número de folhas (NF), Número de vagens (NV)

O número de vagens por planta foi contabilizado manualmente em todos os tratamentos, considerando-se apenas vagens totalmente formadas e visíveis, independentemente do grau de enchimento dos grãos. Para a contabilização, adotou-se como critério vagens com comprimento mínimo visualmente definido, apresentando forma característica da cultura, garantindo uniformidade entre as avaliações. Os valores obtidos foram expressos como média estatística por tratamento. De forma semelhante, o número de folhas foi determinado por contagem direta, considerando-se apenas folhas completamente expandidas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Número de folhas (NF), Número de vagens (NV), Massa fresca da parte aérea (MFPA), Massa seca da parte aérea (MSPA), Comprimento da parte aérea (CPA), Área foliar (AF), Comprimento de raiz (CR), Volume da raiz (VR).

Para as variáveis número de folhas e número de vagens, a análise de variância não indicou efeito significativo dos tratamentos, evidenciando que a inoculação com os diferentes microrganismos não promoveu alterações expressivas nesses parâmetros. Vale ressaltar que apenas 5 tratamentos obtiveram vagens, sendo eles o tratamento 5, 6, 9, 1 e 3, o que aponta que foram melhores quando comparados com os demais mesmo sem confirmação estatística. (Tabela 3).

Da mesma forma, as variáveis relacionadas ao crescimento da parte aérea, incluindo massa fresca da parte aérea, massa seca da parte aérea, comprimento da parte aérea e área foliar, não apresentaram diferenças estatísticas entre os tratamentos. (Tabela 3).

Resultados semelhantes foram observados para as variáveis comprimento de raiz e

volume de raiz, as quais também não diferiram estatisticamente entre os tratamentos. Apesar de variações numéricas nas médias, a ausência de significância estatística indica que os microrganismos avaliados não promoveram alterações consistentes na arquitetura radicular nessas variáveis específicas, diferentemente do observado para outras características do sistema radicular mais sensíveis à inoculação. (Tabela 3).

Tabela 3. Médias das variáveis que não apresentaram diferença estatística significativa entre os tratamentos.

Tratamentos	Nº de folhas	Nº de vagens	MFPA (g)	MSPA (g)	CPA (cm)	AF (cm ²)	CR (cm)	VR (cm ³)
T1 - <i>Azospirillum brasilense</i>	9,00 a	0,25 a	46,25 a	10,25 a	178,75 a	84,13 a	47,25 a	52,50 a
T2 - <i>Bacillus subtilis</i>	9,00 a	0,00 a	43,25 a	9,75 a	178,75 a	59,57 a	31,75 a	50,00 a
T3 - <i>Bacillus aryabhatai</i>	8,50 a	0,00 a	38,75 a	9,00 a	153,50 a	91,18 a	38,25 a	40,00 a
T4 - <i>Trichoderma</i>	8,25 a	0,00 a	47,00 a	10,00 a	168,50 a	97,76 a	42,00 a	47,50 a
T5 - <i>Azospirillum</i> + <i>Bacillus subtilis</i>	9,25 a	0,75 a	42,50 a	9,25 a	159,00 a	91,65 a	51,75 a	52,50 a
T6 - <i>Azospirillum</i> + <i>Bacillus aryabhatai</i>	7,50 a	0,50 a	34,25 a	7,00 a	144,50 a	72,85 a	36,25 a	52,50 a
T7 - <i>Azospirillum</i> + <i>Trichoderma</i>	8,50 a	0,25 a	40,75 a	8,25 a	163,25 a	82,49 a	45,00 a	56,00 a
T8 - <i>Bacillus subtilis</i> + <i>Bacillus aryabhatai</i>	10,50 a	0,00 a	48,00 a	10,25 a	226,25 a	93,77 a	40,00 a	52,50 a
T9 - <i>Bacillus subtilis</i> + <i>Trichoderma</i>	10,25 a	0,50 a	50,25 a	10,75 a	203,50 a	107,63 a	44,75 a	47,50 a
T10 - <i>Bacillus aryabhatai</i> + <i>Trichoderma</i>	10,00 a	0,00 a	40,50 a	8,75 a	143,00 a	90,24 a	50,50 a	46,50 a
T11 - Mix (os 4 microrganismos)	9,25 a	0,00 a	42,25 a	9,75 a	202,50 a	96,59 a	43,75 a	45,00 a

T12 - Controle adubado	10,50 a	0,00 a	38,25 a	7,25 a	182,50 a	93,77 a	38,25 a	38,75 a
T13 - (Controle negativo - sem adubação)	9,25 a	0,00 a	32,00 a	6,25 a	186,00 a	71,68 a	33,50 a	42,50 a

Fonte. Dias, H.R.E., (2025).

Estudos relatam que o número de folhas no feijoeiro é uma característica fortemente influenciada pelo genótipo e pelo estágio fenológico, apresentando baixa sensibilidade a tratamentos isolados, especialmente quando as condições ambientais são favoráveis ao crescimento vegetativo, o que pode explicar a ausência de significância estatística mesmo diante de diferenças numéricas (Silva et al., 2021; Souza et al., 2023).

Em relação ao número de vagens não ter apresentado diferença estatística significativa entre os tratamentos. Esse comportamento sugere que as plantas ainda estavam em estágio inicial da fase reprodutiva ou em condições que limitaram a formação de vagens. Como ressaltou De oliveira; Sarmiento; Oliveira (2023) a escala de desenvolvimento da planta de feijão divide em um ciclo biológico nas fases vegetativas e reprodutivas. Estas fases, por sua vez são subdivididas em dez estádios, sendo eles germinação, emergência, folhas primárias, primeira folha composta aberta, terceira folha trifoliolada aberta, pré-floração, floração, formação das vagens, enchimento das vagens e maturação.

A massa seca retrata o acúmulo real de biomassa estrutural. A ausência de diferença estatística propõe que os tratamentos não promoveram incremento expresso na ausência de carbono. Para a massa fresca da parte aérea, as maiores médias numéricas observadas em alguns tratamentos, apesar de não significativas, podem indicar maior retenção hídrica e crescimento vegetativo mais expressivo. No entanto, essa variável é fortemente influenciada pelo estado hídrico dos tecidos e pelas condições ambientais momentâneas, o que faz com que diferenças observadas nem sempre representem ganhos reais em produção de biomassa. Estudos atuais ressaltam que a massa fresca pode variar consideravelmente sem que haja, necessariamente, aumento proporcional no acúmulo de fotoassimilados (Costa et al., 2021; Pereira et al., 2023).

O crescimento radicular é diretamente influenciado pelas características físicas do solo, como densidade, resistência mecânica e textura. Mesmo que aja estímulos fisiológicos promovidos por tratamentos, como microrganismos promotores de crescimento, o comprimento da raiz pode não refletir essas respostas, visto que a planta tende a investir em ramificações lateral e não necessariamente em maior alongação. Estudos apresentam que tratamentos podem aumentar a eficiência do sistema radicular sem que altere significativamente o comportamento total das raízes. (Santos et al., 2024; Bender et al., 2022).

Outro ponto relevante é o tempo de avaliação. Incrementos significativos no volume de raiz geralmente são observados em fases mais avançadas do ciclo da cultura, quando o sistema radicular já se encontra plenamente estabelecido. Avaliações precoces tendem a mostrar elevada variabilidade e menor poder discriminatório entre tratamentos, conforme relatado por Costa et al. (2021) e Ribeiro et al. (2023).

Abaixo segue a imagem, dos tratamentos. Os 5 primeiros são do tratamento T1 (*Azospirillum brasilense*) T2 (*Bacillus subtilis*) T3(*Bacillus aryabhatai*) T4 (*Trichoderma*) T5 (*Azospirillum* + *Bacillus subtilis*) em seguida do T6 (*Azospirillum* + *Bacillus aryabhatai*) T7 (*Azospirillum* + *Trichoderma*) T8(*Bacillus subtilis* + *Bacillus aryabhatai*) T9 (*Bacillus subtilis* + *Trichoderma*) T10 (*Bacillus aryabhatai* + *Trichoderma*) T11(*Azospirillum* + *Bacillus subtilis* + *Bacillus aryabhatai* + *Trichoderma*) T12 (Controle adubado) T13 (Controle negativo).(Figura 3).

Figura 3. Desenvolvimento de plantas de feijão-caupi inoculadas com Microrganismos Promotores de Crescimento Vegetal.

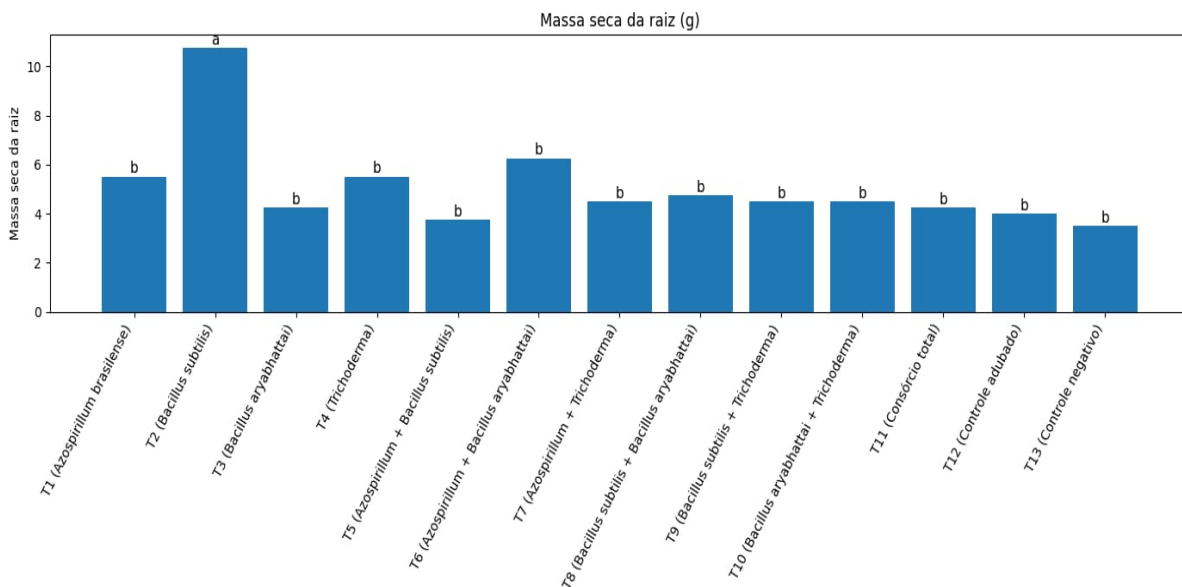


Fonte. Dias, H.R.E., (2025).

3.2 Massa seca da raiz(MSR), Massa fresca da raiz(MFR)Número de nódulos(NN).

A massa seca da raiz apresentou diferença significativa entre os tratamentos. O tratamento 2 (*Bacillus subtilis*) destacou-se com média de 10,75g, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. Entre esses, o tratamento 6 apresentou média de 6,25g, enquanto os demais tratamentos variaram entre 3,50 e 5,50 g, evidenciando menos acúmulo de biomassa radicular quando comparados ao tratamento 2 (*Bacillus subtilis*). (Figura 4).

Figura 4 . Desempenho dos tratamentos na massa seca da raiz em Feijão-Caupí.



Fonte. Dias, H.R.E., (2025).

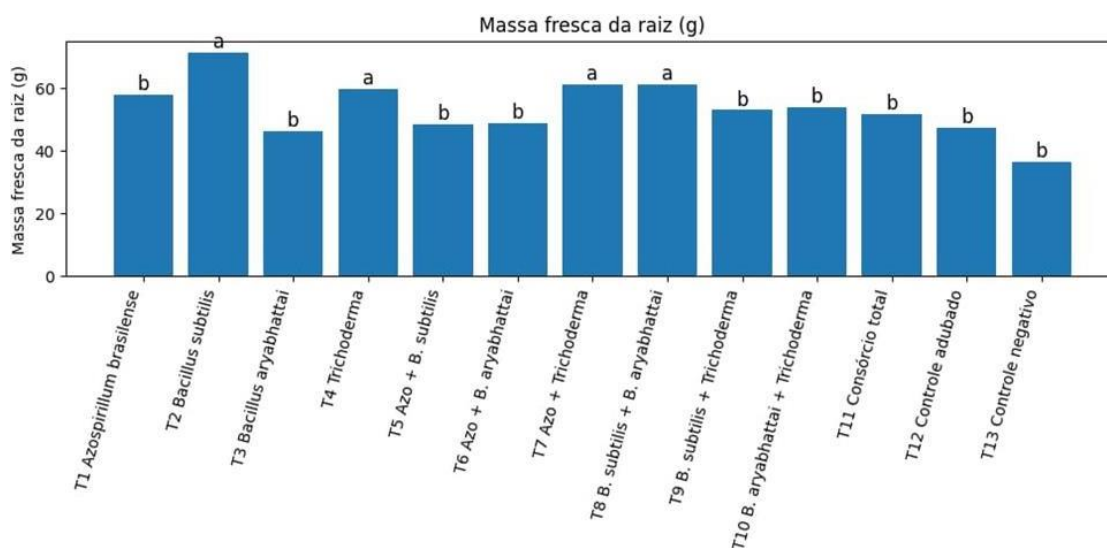
Segundo Tang & Riley (2021), o desenvolvimento do sistema radicular influencia diretamente a aquisição de nutrientes no solo, sendo que raízes mais extensas e vigorosas permitem maior exploração do solo e maior eficiência na absorção de elementos essenciais como nitrogênio, fósforo e potássio. Esse processo é fundamental para maximizar o crescimento vegetal e o desempenho fisiológico geral, especialmente em condições de disponibilidade limitada de recursos no solo.

Além disso, Feng et al. (2021) demonstraram que alterações na arquitetura do sistema radicular, como aumento da densidade de raízes finas, estão associadas a uma maior assimilação de nutrientes, o que pode se refletir em incrementos de biomassa abaixo do solo e maior vigor fisiológico das plantas.

Esses efeitos concordam com o desempenho observado no Tratamento 2, sugerindo que esse tratamento exerceu um efeito fisiológico positivo sobre o sistema radicular, refletido no aumento da massa seca das raízes e na potencial capacidade de exploração do solo.

Dentre as variáveis avaliadas, a massa fresca da raiz apresentou uma das respostas mais expressivas, com diferença estatística significativa entre os tratamentos. O tratamento 2 (*Bacillus subtilis*) apresentou a maior média, destacando-se dos demais, em seguida o tratamento 7 (*Azospirillum* + *Trichoderma*) T8(*Bacillus subtilis* + *Bacillus aryabhatai*), T4 (*Trichoderma*) e T1 (*Azospirillum brasilense*). Isso indica que os microrganismos ou condições promovidas por esse tratamento favoreceram o acúmulo de biomassa radicular. (Figura 5).

Figura 5. Desempenho dos tratamentos na massa fresca da raiz em Feijão-Caupí.



Fonte. Dias, H.R.E., (2025).

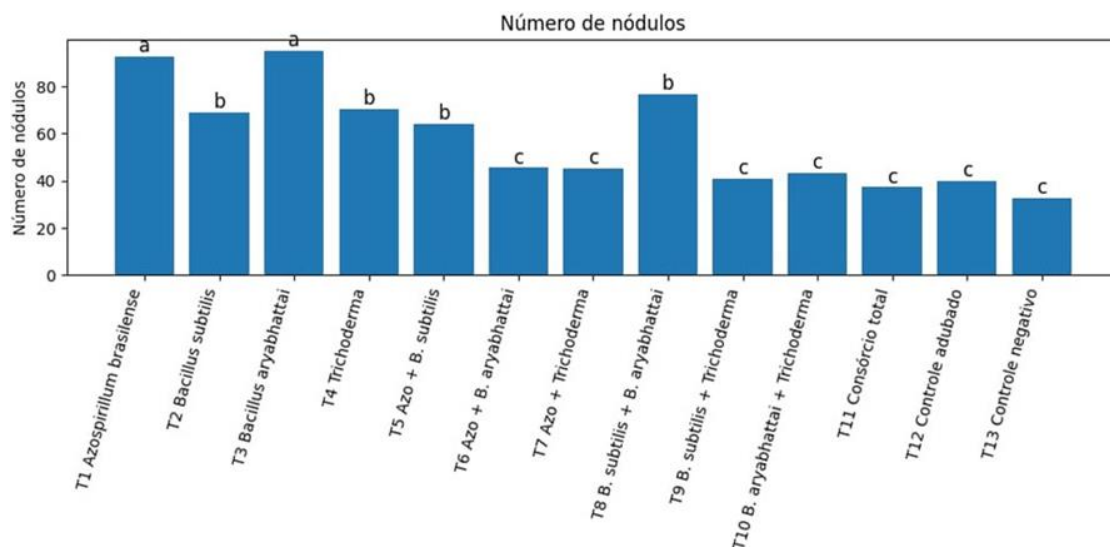
De acordo com Backer et al. (2018), bactérias promotoras de crescimento vegetal, como *Bacillus subtilis*, podem estimular o crescimento radicular por meio da produção de fitormônios, como auxinas, além de melhorar a disponibilidade de nutrientes no solo, refletindo diretamente no aumento da biomassa fresca das raízes.

Além disso, Harman et al. (2021) destacam que fungos do gênero *Trichoderma* promovem o crescimento radicular ao melhorar a absorção de água e nutrientes, além de induzir respostas fisiológicas positivas nas plantas. A combinação de microrganismos, como

observado nos tratamentos consorciados, pode potencializar esses efeitos, favorecendo maior acúmulo de biomassa fresca do sistema radicular. Dessa forma, os resultados obtidos corroboram a literatura e reforçam o efeito positivo do Tratamento 2 e dos consórcios microbianos sobre o desenvolvimento radicular.

O número de nódulos foi a variável mais sensível aos tratamentos, apresentando diferença altamente significativa ($p < 0,0001$). Entre os Tratamentos T3 (*Bacillus aryabhatai*) e T1 (*Azospirillum brasilense*) esses tratamentos se mostraram melhores comparados ao demais tratamentos. Em seguida os tratamentos, T8, T4, T2, T5 se mostraram melhores quando comparados aos tratamentos T6, T7, T9, T10, T11, T12, T13. (Figura 6).

Figura 6. Desempenho dos tratamentos no número de nódulos em Feijão-Caupí.



Fonte. DIAS, H.R.E., (2025).

Os tratamentos T3 e T1 apresentaram os melhores resultados, indicando que a inoculação isolada desses microrganismos foi eficiente em estimular a nodulação. Estudos demonstram que *Azospirillum brasilense* pode atuar indiretamente na nodulação por meio da produção de fitormônios, especialmente auxinas, que favorecem o crescimento do sistema radicular e aumentam os sítios de colonização para bactérias simbióticas (Bashan; de bashan, 2010).

4. CONCLUSÕES

Conclui-se que a inoculação com microrganismos promotores de crescimento vegetal favoreceu principalmente o desenvolvimento do sistema radicular do feijão-caupi. *Bacillus subtilis* destacou-se pelo aumento da massa fresca e seca das raízes, enquanto *Azospirillum brasilense* apresentou um aperfeiçoamento para a fixação biológica de nitrogênio, evidenciada pelo número de nódulos. Dessa forma os microrganismos melhoraram a rizosfera e processos fisiológicos iniciais, indicando potencial para sistemas de produção mais sustentáveis, especialmente em regiões semiáridas, embora estudos de campo e de maior duração ainda sejam necessários.

5. REFERÊNCIAS

ABIAL, M. A. et al. *Bacillus aryabhatai* enhanced proline content, stabilized membrane and improved growth of cowpea under NaCl-induced salinity stress. **Journal of Applied Microbiology**, v. 133, n. 3, p. 1520–1533, 2022. Disponível em: <https://academic.oup.com/jambio/article-abstract/133/3/1520/6989279?redirectedFrom=fulltext&login=false#no-access-message>.

ABREU, A. P.; SANTOS, R. A.; MENDES, F. F. Inoculação microbiana e crescimento radicular em leguminosas sob condições controladas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 46, e0210156, 2022.

ARAÚJO, F. F.; PEDRO, R. A. Rizobactérias promotoras de crescimento vegetal e seu uso na agricultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 6, p. 1597–1608, 2013.

ARAÚJO, J. L. S.; FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M. M. Aspectos botânicos e agronômicos de cultivares de feijão-macassar (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). Teresina: Embrapa Meio-Norte, 1984.

ARAÚJO, R. S.; SILVA, F. A.; OLIVEIRA, J. T. Crescimento inicial e acúmulo de biomassa em leguminosas sob diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 16, n. 4, p. 1–9, 2021.

BACKER, R.; ROKEM, J. S.; ILANGUMARAMI, G. et al. Plant growth-promoting rhizobacteria: mechanisms and applications. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p. 1473, 2018. Disponível em: https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2018.01473/full?utm_source=chatgpt.com.

BARROS, R. T. et al. A coinoculação de *Azospirillum brasilense* e *Bradyrhizobium* spp. promove crescimento em feijão-caupi no semiárido baiano. **Scientific Electronic Archives**, v. 17, p. 1–10, 2024. Disponível em: <https://scientificelectronicarchives.org/index.php/SEA/article/view/1968/1983>.

BASHAN, Y.; DE-BASHAN, L. E. How the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* promotes plant growth – a critical assessment. **Advances in Agronomy**, v. 108, p. 77–136, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/chapter/bookseries/abs/pii/S0065211310080028>.

BENDER, R. R.; HAEGELE, J. W.; BELOW, F. E. Root system architecture and its role in plant productivity. **Plant and Soil**, v. 475, p. 1–15, 2022.

CASSAN, F.; DIAZ, M. Azospirillum spp. in current agriculture. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 103, p. 44–55, 2016. Disponível em; <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038071716302000>.

CARDOSO, M. J.; NASCIMENTO, J. T.; FREIRE FILHO, F. R. Influência de fatores ambientais na formação de flores e vagens do feijão-caupi. **Agronomy Journal**, v. 116, p. 1–12, 2024.

CARVALHO, R. V. et al. Physiological responses of roots under nutrient stimuli. **Plant Physiology Reports**, v. 26, p. 1–10, 2021.

CHAGAS, L. F. B. et al. *Bacillus subtilis* e *Trichoderma* sp. no incremento da biomassa em culturas agrícolas. **Agri-environmental Sciences**, v. 3, n. 2, p. 10–18, 2017. Disponível em; <https://revista.unitins.br/index.php/agri-environmental-sciences/article/view/430/520>.

COSTA, E. M.; SOUZA, J. L.; FERREIRA, P. A. Métodos de avaliação do sistema radicular e variabilidade experimental em leguminosas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 56, e021021, 2021.

COSTA, A. L.; OLIVEIRA, L. B.; MENDONÇA, E. S. Factors affecting nodulation in legumes and biological nitrogen fixation efficiency. **Agronomy Science**, v. 12, n. 3, p. 1–12, 2020.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos – Safra 2024/25: 12º Levantamento. Brasília: CONAB, set. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos>.

CRAUFURD, P. Q.; SUMMERFIELD, R. J.; KEATINGE, J. D. H. Temperature limits for cowpea production in the semi-arid tropics. **Crop Science**, v. 36, n. 5, p. 1184–1191, 1996.

DE OLIVEIRA, R. S.; SILVA, F. A.; PEREIRA, M. G. Fixação biológica de nitrogênio e desenvolvimento radicular em leguminosas. **Applied Soil Ecology**, v. 167, p. 104018, 2021.

DE OLIVEIRA, L.; F. C.; SARMENTO, P.H. L.; OLIVEIRA, M.G.C; Fenologia.2023. Disponível em; <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/feijao/pre-producao/fenologia>.

DO VALE, J.C;BERTINI, C; BORÉM, A; Feijão-caupi: do plantio à colheita. Brasília: Embrapa, 2011. Disponível em; <https://design.jet.com.br/editoraufv/documentos/Feij%C3%A3oCaupi%20do%20plantio%20>

[%C3%A0%20colheita%20PDF.pdf](#).

FANCELLI, A. L.; DOURADO, NETO, d. Produção de feijão. **Piracicaba**: ESALQ/USP, 2000. Disponível em; <https://repositorio.usp.br/item/001078275>.

FARIAS, M. O. et al. Nodulation and nitrogen fixation under different soil conditions. **Soil Biology Letters**, v. 5, p. 1–9, 2019.

FENG, L.; XU, W.; TANG, G. et al. Biochar induced improvement in root system architecture enhances nutrient assimilation by cotton plant seedlings. **BMC Plant Biology**, 21:269, 2021. Disponível em; https://link.springer.com/article/10.1186/s12870-021-03026-1?utm_source=chatgpt.com.

FERREIRA, D. F. Estatística experimental aplicada. **Lavras**: UFLA, 2018.

FERREIRA, E. P. B.; HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A. Nodulação e fixação biológica de nitrogênio em leguminosas. **Applied Soil Ecology**, v. 198, p. 104–118, 2024.

FERREIRA, I. V.; MENDES, F.F; SANTOS, R. A. Limitações do uso da massa fresca como indicador de crescimento vegetal. **Revista Ciência Agronômica**, v. 52, n. 3, p. 1–10, 2021.

FERREIRA, E. P. B.; HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A. Azospirillum brasilense e promoção de crescimento em feijão-caupi. **Applied Soil Ecology**, v. 143, p. 1–9, 2019.

FIORENTIN, L.; ALVES, S. M. R.; LANDIM, L. H. F. Biofortificação e qualidade nutricional do feijão-caupi. Research, **Society and Development**, v. 10, n. 14, e56101416054, 2019.

FIODOR, A. et al. Biopriming of seed with plant growth-promoting bacteria for improved germination and seedling growth. **Frontiers in Microbiology**, v. 14, p. 1–15, 2023.

FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. A.; ROCHA, m. m. Melhoramento genético do feijão-caupi para o Brasil. Teresina: **Embrapa Meio-Norte**, 2005.

GALINDO, F. S. et al. Co-inoculation with Azospirillum brasilense enhances nitrogen uptake in cowpea. **Plants**, v. 11, n. 14, p. 1847, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/11/14/1847>.

GOMES, F. P. Curso de estatística experimental. Piracicaba: FEALQ, 2009.

HARMAN, G. E.; DONO, F.; KHADKA, R. B.; UPHOFF, N. Endophytic strains of Trichoderma increase plant growth and resilience to stress.

Microorganisms, v. 9, n. 2, p. 1–22, 2021. Disponível em:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31271695/>.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S. Biological nitrogen fixation and sustainability in agriculture. **Applied Soil Ecology**, v. 166, p. 103–115, 2021.

HUNGRIA, M.; VARGAS, M. A. T. Environmental factors affecting N₂ fixation in grain legumes.

Field Crops Research, v. 65, n. 2–3, p. 151–164, 2000.

LANDIM, L. H. F.; ALVES, S. M. R.; SOUZA, A. C. M. Produção de alimentos à base de feijão-caupi. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 14, e56101416054, 2019.

LIMA, A. L.; PEREIRA, M. G.; SOUZA, R. F. Eficiência nutricional e produção de biomassa. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 54, n. 2, p. 1–11, 2023.

LIMA, J. S. Potencial de rizobactérias solubilizadoras de fósforo no desenvolvimento de culturas agrícolas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1221–1230, 2010.

LUZ, W. C. Microbiolização das sementes. Passo Fundo: **Embrapa-CNPT**, 1991. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/44965/1/MICROBIOLIZACAO-DAS-SEMENTES.pdf>.

MARTINS, D. S.; ROCHA, V. S.; ALMEIDA, C. F. Relação entre área foliar e desempenho fisiológico. **Journal of Plant Physiology**, v. 260, p. 153–162, 2021.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e bioquímica do solo. 2. ed. **Lavras: UFLA**, 2006. Disponível em: https://tga.blv.ifmt.edu.br/media/filer_public/85/8e/858e7777-a548-4aff-9ac0-f83d151ec604/moreira_e_siqueira_-_microbiologia_e_bioquimica_do_solo_-_2ed_-_2006.pdf.

OLIVEIRA, T. R.; SANTOS, A. P. Root system development under different management conditions.

Plant Soil Research, v. 18, n. 2, p. 45–58, 2020.

OMAR, R. F. Coinoculação com *Azospirillum brasilense* e *Bradyrhizobium* sp. aumenta absorção de nitrogênio em feijão-caupi. **Trabalho de Conclusão de Curso – UNESP**. 2023. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/fe1d7e3d-ef31-4ea8-987e-92c0953de607/content>.

- PEREIRA, A. L.; SOUZA, R. F.; BARBOSA, J. C. Crescimento vegetativo e competição por luz. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 52, p. 1–9, 2022.
- RIBEIRO, A. C. et al. Root growth dynamics and plant development. **Agronomy**, v. 13, n. 2, p. 1–15, 2023.
- ROCHA, V. S.; MARTINS, D. S.; ALMEIDA, C. F. Crescimento em altura e produtividade agrícola. **Scientia Agricola**, v. 80, n. 3, p. 1–10, 2023.
- SADHUKHAN, A. et al. Rhizosphere *Priestia* species altered cowpea root transcriptome. **Planta**, v. 256, p. 1–15, 2022. Disponível em; <https://link.springer.com/article/10.1007/s00425-022-04047-2>.
- SANTOS, R. A.; FERREIRA, E. P. B.; MENDES, F. F. Arquitetura radicular, área foliar e eficiência fisiológica em leguminosas. **Agronomy**, v. 14, n. 2, p. 1–17, 2024.
- DA SILVA, L. O. Associação de *Bradyrhizobium* spp. e *Azospirillum brasilense* no feijão-caupi. **UNEB**.2024. Disponível em; <https://saberaberto.uneb.br/server/api/core/bitstreams/1eadefc3-81f8-439e-9d1c-c2be97fd5435/content>.
- SILVEIRA , P. M.; MORAES, M. F.; BARBOSA, I. c. Produção de biomassa em feijão comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 58, e02941, 2023.
- SILVAI, F. A. et al. Crescimento inicial e alocação de biomassa em feijoeiro. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 45, e57432, 2023.
- SOUZA, D. S.; LIMA, E. C.; FERREIRA, J. P. Crescimento do feijoeiro sob diferentes manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 27, n. 5, p. 345–353, 2023.
- SOUZA, D. S.; LIMA, E. C.; FERREIRA , J. P. Fitormônios bacterianos e desenvolvimento radicular em leguminosas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 16, n. 3, e8324, 2021.
- TAIZ, L.; ZEIGER , E.; MOLLER, I. M.; Murphy, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6. ed. Porto Alegre: **Artmed**, 2017.
- TANG, J.; RILEY, W. J. On the modeling paradigm of plant root nutrient acquisition. **Plant and Soil**, v. 459, p. 441–451, 2021. Disponível em; https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-020-04798-5?utm_source=chatgpt.com.
- TORRES, D. A. et al. Relationship between root development and aerial biomass. **Plant Growth Analysis**, v. 12, p. 1–10, 2021.

VICENT, J. M. A manual for the practical study of root-nodule bacteria. **Oxford: Blackwell Scientific Publications**, 1970. Disponivel em;

<https://www.cabdigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19710700726>.

<https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2011.00024/full>.

YAN, J.; BOGIE, N. A.; GHEZZEHEI, T. A. Root uptake under mismatched distributions of water and nutrients in the root zone. **Biogeosciences**, 17, 6377–6392, 2020. Disponivel em ;

https://bg.copernicus.org/articles/17/6377/2020/?utm_source=chatgpt.com.