

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta tese/dissertação será disponibilizado somente a partir de
27/08/2025

At the author's request, the full text of this thesis/dissertation will not be available online until
Aug. 27, 2025

JOÃO PEDRO DOS SANTOS

**INOCULAÇÃO DE *Bacillus aryabhattai* EM DIFERENTES DOSES NO FEIJÃO COMUM
SUBMETIDOS A REGIMES HÍDRICOS**

Botucatu

2025

JOÃO PEDRO DOS SANTOS

**INOCULAÇÃO DE *Bacillus aryabhattai* EM DIFERENTES DOSES NO FEIJÃO COMUM
SUBMETIDOS A REGIMES HÍDRICOS**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Ferrari Putti.

Coorientador: Prof. Dr. Gustavo Ferreira da Silva.

Botucatu

2025

S237i

Santos, João Pedro dos

Inoculação de *Bacillus aryabhattai* em diferentes doses no feijão comum submetidos a regimes hídricos / João Pedro dos Santos. -- Botucatu, 2025

64 p. : il., tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu

Orientador: Fernando Ferrari Putti

Coorientador: Gustavo Ferreira da Silva

1. Bioinsumos. 2. Déficit hídrico. 3. *Priestia aryabhattai*. 4. *Phaseolus vulgaris* L.. I. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: INOCULAÇÃO DE *Bacillus aryabhattai* EM DIFERENTES DOSES NO FEIJÃO COMUM SUBMETIDOS A REGIMES HÍDRICOS

AUTOR: JOÃO PEDRO DOS SANTOS

ORIENTADOR: FERNANDO FERRARI PUTTI

COORDENADOR: GUSTAVO FERREIRA DA SILVA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Agrícola, pela Comissão Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **FERNANDO FERRARI PUTTI**
Data: 10/03/2025 17:51:59-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. FERNANDO FERRARI PUTTI (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia de Biosistemas / Faculdade de Ciências e Engenharia FCE UNESP TupaSP

Documento assinado digitalmente
 **ALEXSANDRO OLIVEIRA DA SILVA**
Data: 28/02/2025 16:39:24-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. ALEXSANDRO OLIVEIRA DA SILVA (Participação Virtual)
Engenharia Agrícola / Universidade Federal do Ceará

Documento assinado digitalmente
 **LEANDRO JOSE GRAVA DE GODOY**
Data: 10/03/2025 11:12:43-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. LEANDRO JOSE GRAVA DE GODOY (Participação Virtual)
Engenharia Agrônoma / UNESP Campus de Registro

Botucatu, 27 de fevereiro de 2025

Dedico,

Aos meus pais Gelson e Sandra, pelo carinho, apoio e incentivo em todos os momentos desta jornada de minha vida. A minha noiva, Ana Laura, por estar sempre ao meu lado nos desafios, lutando e enfrentando junto comigo.

AGRADECIMENTOS

A Deus e a Nossa Senhora Aparecida, pelo dom da sabedoria, pela força de vontade e por não me deixar desistir durante os momentos difíceis.

Aos meus pais, que sempre me apoiaram, enfrentando tantos desafios para tornar este nosso sonho possível. Obrigado por todo apoio.

As minhas queridas irmãs, Sabrina, Izabella e Evelyn, e aos meus sobrinhos Victor H, Ryan, Mari e Manu por me apoiarem nos momentos de maior dificuldade.

À Adriana, por ter feito a minha melhor conquista.

À Ana Laura, por sua incrível dedicação e pela companhia essencial em nossa trajetória.

Ao Prof. Dr. Fernando Putti e ao Prof. Dr. Gustavo Silva, pela orientação impecável, paciência, ensinamentos valiosos e pelo exemplo de profissionalismo e humanidade.

Ao meu amigo Brunão, prof. Dr. Bruno César Góes, pela amizade, incentivos, conversas e insistência que contribuíram para que eu chegasse até aqui.

A todos os professores e funcionários da Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA), pelo suporte e dedicação ao ensino e à pesquisa.

À Universidade Virtual do Estado de São Paulo (Univesp), pela concessão da bolsa de estudos, que foi fundamental para a realização deste trabalho.

À Universidade José do Rosário Vellano (Unifenas), pelo apoio e estrutura disponibilizados para a condução da pesquisa.

E, finalmente, a todos que, de forma direta ou indireta, contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa. A colaboração e incentivo de cada um foram fundamentais para alcançar este resultado.

“Fazemos planos para nossa vida, mas é o Senhor quem determina os nossos passos”.

BÍBLIA SAGRADA. **Provérbios 16:9.**
Tradução Nova Versão Transformadora. 2
ed. São Paulo: Mundo Cristão 2016. p. 689.

RESUMO

O estresse abiótico que mais afeta as culturas em todo o mundo é a deficiência hídrica, este que vem sendo agravado com as frequentes mudanças climáticas. Neste cenário, é necessário a busca por alternativas sustentáveis para auxiliar na produção agrícola, visando reduzir os impactos do déficit hídrico. Nesse sentido, a inoculação de *Bacillus aryabhattai* tem demonstrado grande potencial para reduzir os impactos da falta de água na cultura do milho. No entanto, não há estudos sobre o impacto de diferentes doses inoculadas em sementes de feijão. Desse modo, o objetivo com esta pesquisa foi verificar o efeito de diferentes doses de *B. aryabhattai* sob dois regimes hídricos na cultura do feijoeiro comum, sobre os aspectos morfológicos e produtivos da cultura. O experimento foi conduzido em casa de vegetação em delineamento de blocos casualizados em esquema fatorial 2 x 6, com quatro repetições, sendo dois manejos de irrigação 50 e 100% das necessidades hídricas da cultura e seis doses do produto contendo *Bacillus aryabhattai* (0,0; 2,0; 4,0; 6,0; 8,0 e 10,0 mL kg⁻¹ de sementes). Avaliou-se altura da planta, altura de inserção da primeira vagem, número de vagens por planta, número de grãos por vagem, número de grãos por planta, produção por planta, massa de matéria seca da raiz, teor de proteína nas folhas, teor de nitrogênio nas folhas, produtividade da água de irrigação e unidade formadora de colônias. Os resultados demonstraram ganhos na massa de matéria seca da raiz, na altura das plantas, número de vagens, número de grãos por plantas e na produção. A inoculação na dose de 2 mL por kg de semente incrementou ganhos de 10% na produção da cultura com a lâmina de 100% da evapotranspiração da cultura (ETc). No entanto, as plantas sob restrição hídrica de 50% da ETc tiveram a produção prejudicada em decorrência da falta de água. Apenas a dose de 4 mL kg de semente, minimizou as perdas na produção. Dose acima de 4 mL, independente do regime hídrico, prejudicou o desenvolvimento das plantas, comprometendo a produção do feijoeiro.

Palavras-chave: bioinsumos; déficit hídrico; *Priestia aryabhattai*; *Phaseolus vulgaris* L.

ABSTRACT

The abiotic stress that most affects crops worldwide is water deficiency, which has been worsened by climate change. In this scenario, it is necessary to search for sustainable alternatives to assist agricultural production, reducing the impacts of water deficit. In this sense, the inoculation of *Bacillus aryabhattai* has shown great potential to reduce the impacts of water shortages on corn crops. However, there are no studies on the impact of different doses inoculated in bean seeds. Therefore, the objective of this research was to verify the effect of different doses of *B. aryabhattai* under two water regimes in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) crops, on the morphological and productive aspects of the crop. The experiment was conducted in a greenhouse in a randomized block design in a 2 x 6 factorial scheme, with four replications, two irrigation managements of 50 and 100% of the crop's water requirements and six doses of the product containing *Bacillus aryabhattai* (0.0; 2.0; 4.0; 6.0; 8.0 and 10.0 mL kg of seeds⁻¹). The parameters of plant height, height of insertion of the first pod, number of pods per plant, number of grains per pod, number of grains per plant, production per plant, root dry matter mass, protein content in leaves, nitrogen content in leaves, irrigation water productivity and colony forming unit were evaluated. The results demonstrated gains in root dry matter mass, plant height, number of pods, number of grains per plant and production. Inoculation at a dose of 2 mL per kg of seed increased gains of 10% in crop yield with a 100% crop evapotranspiration depth (ET_c). However, plants under water restriction of 50% of ET_c had their production impaired due to the lack of water. Only the dose of 4 mL kg of seed minimized production losses. Doses above 4 mL, regardless of the water regime, impaired plant development, compromising yield of the beans.

Keywords: bio inputs; water deficit; *Priestia aryabhattai*; *Phaseolus vulgaris* L.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Variáveis climáticas dentro do ambiente protegido durante a condução do experimento	29
Figura 2 - Croqui da área experimental.....	31
Figura 3 - Altura das plantas para os tratamentos nas diferentes doses de bioinsumo sob os regimes hídricos irrigação.....	39
Figura 4 - Altura de inserção da primeira vagem (cm) para os tratamentos nas diferentes doses de bioinsumo sob os regimes hídricos irrigação.....	40
Figura 5 - Número de vagens por planta para os tratamentos nas diferentes doses de bioinsumo sob os regimes hídricos irrigação.....	41
Figura 6 - Número de grãos por vagem para os tratamentos nas diferentes doses de bioinsumo sob os regimes hídricos irrigação.....	42
Figura 7 - Número de grãos por planta para os tratamentos nas diferentes doses de bioinsumo sob os regimes hídricos irrigação.....	43
Figura 8 - Produção de grãos (g planta ⁻¹) para os tratamentos nas diferentes doses de bioinsumo sob os regimes hídricos irrigação.....	44
Figura 9 - Massa de matéria seca da raiz (g) para os tratamentos nas diferentes doses de bioinsumo sob os regimes hídricos irrigação.....	45
Figura 10 - Teor de nitrogênio nas folhas para os tratamentos nas diferentes doses de bioinsumo sob os regimes hídricos irrigação.....	46
Figura 11 - Teor de proteína nas folhas para os tratamentos nas diferentes doses de bioinsumo sob os regimes hídricos irrigação.....	47
Figura 12 - Produtividade da água de irrigação para os tratamentos nas diferentes doses de bioinsumo sob os regimes hídricos irrigação	48
Figura 13 - Unidade formadora de colônia para os tratamentos nas diferentes doses de bioinsumo sob os regimes hídricos irrigação.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Análise química do solo utilizado na condução do experimento.....	30
Tabela 2 – Análise física do solo utilizado na condução do experimento.....	30
Tabela 3 – Coeficiente da cultura KC para as três fases do ciclo do feijoeiro.....	33
Tabela 4 – Valores de p-valor referente às variáveis altura de plantas (AP), altura de inserção da primeira vagem (AIPV), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), número de grãos por planta (NGP), produção (P - g/planta), massa da matéria seca da raiz (MSR g), teor de nitrogênio nas folhas (N %), teor de proteína nas folhas (PB %), produtividade da água de irrigação (P_{Air} g m ⁻³) e unidade formadora de colônias (UFC/mL).....	38

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
2	REVISÃO DE LITERATURA	23
2.1	A produção do feijoeiro no Brasil	23
2.2	Necessidade hídrica do feijoeiro	24
2.3	Estratégia de Irrigação com Déficit Hídrico	26
2.4	Inoculação de sementes com <i>Bacillus aryabhattai</i> no feijoeiro.....	27
3	MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1	Caracterização da Área Experimental	29
3.2	Características do solo e correção da acidez.....	30
3.3	Delineamento e caracterização dos tratamentos	30
3.4	Processo de inoculação das sementes.....	31
3.5	Instalação e condução do experimento	32
3.6	Manejo da irrigação.....	33
3.7	Avaliações.....	34
3.8	Análise estatística	37
4	RESULTADOS.....	38
5	DISCUSSÃO	50
6	CONCLUSÕES	56
	REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma leguminosa originária da região da Mesoamérica, sendo cultivada em todo o território nacional. O feijão comum é um dos alimentos mais tradicionais da alimentação brasileira, graças ao seu alto valor nutricional de proteína, carboidratos, vitaminas e minerais, sendo juntamente com o arroz a base da alimentação dos brasileiros (Coelho e Valcacer Coelho, 2021). Além dos benefícios nutricionais, a cultura pertence ao grupo de plantas fixadoras biológicas de nitrogênio (FBN) que auxiliam na melhoria da qualidade do solo (Magrini *et al.*, 2019).

O Brasil se destaca entre os principais produtores de feijão comum, no entanto, diferentes de outras culturas, toda sua produção é destinada para o consumo interno do país, sendo o Paraná o maior produtor nacional (CONAB, 2024). Seu cultivo é realizado por produtores de todos os níveis tecnológicos, que enfrentam diferentes realidades durante seu ciclo de produção nas diferentes épocas de cultivo. O cultivo no país pode ser realizado em três épocas distintas, sendo “feijão das águas” na primavera, “feijão da seca” no outono e “feijão de inverno” no inverno, o que favorece a oferta ao longo do ano, no entanto, as recentes mudanças climáticas têm desafiado as safras agrícolas.

Tem se observado nos últimos anos uma crescente ocorrência de períodos de seca em várias partes do mundo (conhecido como veranico), resultantes dos impactos das mudanças climáticas, que afetam o ciclo hidrológico de maneira global (Gitz *et al.*, 2016). Junto a isso, ocorre o impacto negativo na produção agrícola que em grande parte depende das chuvas para o suprimento de água durante o ciclo das plantas (Fraire-Velazquez; Balderas-Hernández, 2013).

A falta de água é fator limitante para a produtividade do feijoeiro, interferindo nos processos metabólicos e fotossintéticos, resultando na redução do rendimento e na produtividade. Neste cenário de desafios e demandas, há uma intensa busca para desenvolver estratégias de manejo, visando práticas sustentáveis voltadas ao uso de insumos agrícolas que possam auxiliar as plantas a enfrentar as diferentes condições climáticas e minimizar o uso dos recursos hídricos. Uma alternativa promissora é a utilização de insumos biológicos, com destaque para as bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP), sendo as mais utilizadas na agricultura as dos

gêneros *Azospirillum*, *Pseudomonas* e *Bacillus* (Mohanty *et al.*, 2021). Essas bactérias têm a capacidade de melhorar o desenvolvimento das plantas por meio de diversos mecanismos, tanto diretos quanto indiretos, destacando a produção de metabólitos microbianos e a formação de biofilme, este último que ajuda manter o sistema radicular hidratado (Lee *et al.*, 2012; Ahemad e Kibret, 2014).

A busca por estratégias que visam auxiliar as plantas a sobressair as mudanças climáticas é muito importante para as culturas agrícolas, se tratando do feijoeiro, uma cultura muito sensível às alterações ambientais, apesar da sua ampla adaptação no território nacional, é uma das plantas mais afetadas pelo déficit hídrico, por seu ciclo rápido que necessita da presença adequada de água (Smith *et al.*, 2019) e ao seu sistema radicular superficial, incapaz de se desenvolver em camadas mais profundas (Santos *et al.*, 2015). Em consequência das alterações edafoclimáticas, as plantas sob déficit hídrico desenvolvem diferentes mecanismos adaptativos para sobressair às condições adversas, incluindo ajuste no seu porte, redução da área foliar e da transpiração, a celeridade da senescência e a abscisão foliar, resultando em baixa na produtividade (Khatun *et al.*, 2021).

No entanto, são observados benefícios das BPCP na produção agrícola por diversos autores em diferentes culturas como soja e feijão comum (Hungria *et al.*, 2013), milho (Sandini *et al.*, 2019), trigo (Hussain *et al.*, 2020) e arroz (Rawat *et al.*, 2022), como a defesa antioxidante, produção de exopolissacarídeos e de biofilme, podendo proporcionar maior tolerância das plantas a condições adversas como o estresse hídrico. Porém, poucos trabalhos têm sido realizados para verificar as relações das doses e a irrigação do feijoeiro. Assim, a hipótese do trabalho é que as diferentes doses de *B. aryabhattai* inoculadas no feijoeiro comum influenciam positivamente o desempenho produtivo da planta em diferentes regimes de irrigação. Desse modo, o objetivo com esta pesquisa foi verificar o efeito de diferentes doses de *B. aryabhattai* sob dois regimes hídricos na cultura do feijoeiro comum, sobre os aspectos morfológicos e produtivos da cultura.

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta tese/dissertação será disponibilizado somente a partir de
27/08/2025

At the author's request, the full text of this thesis/dissertation will not be available online until
Aug. 27, 2025

6 CONCLUSÕES

Para minimizar os efeitos do estresse hídrico foi inoculado *Bacillus aryabhattai* nas sementes do feijoeiro comum como uma estratégia contra os efeitos da escassez hídrica no desenvolvimento e na produção da cultura. Na irrigação deficitária (50% da ETc) foi observado que os efeitos das diferentes doses não foram significativos no parâmetro de produção da cultura. Na irrigação plena (100% da ETc) promoveu ganhos, em que *B. aryabhattai* atuou como uma estratégia adicional para a melhoria da produção, em que a dose de 2,36 mL kg⁻¹ de semente incrementou ganhos de 11% na produção.

Apesar da falta de significância na irrigação deficitária, a dose de 4 mL kg⁻¹ de semente promoveu um incremento de aproximadamente 13% na produção de grãos, indicando um potencial benéfico em situação de restrição hídrica severa (50% da ETc). Esses dados, reforçam a necessidade de mais estudos explorando diferentes lâminas de irrigação, especialmente com déficit hídrico moderado, para avaliar melhor os efeitos e os ganhos da inoculação de *B. aryabhattai* no feijoeiro comum.

Entretanto, é importante ressaltar que o uso de doses elevadas do inoculante pode trazer impactos negativos para o desenvolvimento da cultura. Conforme observado nos resultados deste estudo, doses superiores a 4 mL kg⁻¹ de sementes comprometeram o crescimento das plantas e reduziram a produção da cultura. Esse efeito negativo pode estar relacionado à competição do *B. aryabhattai* com microrganismos nativos do solo por nutrientes e espaço, além da possível liberação excessiva de metabólitos secundários, que podem alterar o pH do solo e criar condições desfavoráveis para outros organismos benéficos, este último que pode causar o desbalanceamento da microbiota da rizosfera, resultando em menor diversidade microbiana e consequentemente, menos benefícios às plantas.

Portanto, a definição da dose ideal do inoculante deve ser realizada com precaução, considerando a interação do microrganismo no solo e no ambiente. Além disso, é fundamental ressaltar que a inoculação com *B. aryabhattai* não substitui a irrigação, mas atua como uma ferramenta para auxiliar na mitigação dos efeitos da escassez hídrica, o que contribui para uma gestão mais eficiente da água de irrigação, um recurso cada vez mais limitado.

REFERÊNCIAS

- AHEMAD, M.; KIBRET, M. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective. *Journal of King Saud University. Science*, v. 26, n.1, p. 1–20, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1018364713000293>. Acesso em: 26 jan. 2025.
- ALLEN, R. P. L.; S. M. Crop evapotranspiration: **FAO irrigation and drainage paper**, v. 56, p. 60-64, 1998.
- BASSOI, L. H (2020). Irrigação com déficit. In: Agricultura irrigada no Brasil: **Ciência e tecnologia** (pp. 149-168). ESALQ. Disponível em: https://www.esalq.usp.br/biblioteca/pdf/4.Agricultura_Irigada_no_Brasil-ci%C3%Aancia_e_tecnologia.pdf. Acesso em: 15 out. 2024.
- BEZERRA, L. M C. Análise do sistema de produção agrícola de feijão no estado de São Paulo a partir do Levantamento das Unidades de Produção Agropecuária (LUPA). **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 61, p. e276881, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2023.276881>. Disponível em: <https://www.scielo.br/rj/resr/a/F5QCXVcScskgskpXyRScDGs/?lang=pt>. Acesso em: 28 nov. 2024.
- BRITO, R. R.; GRASSI FILHO, H.; SAAD, J. C. C.; OLIVEIRA, S. R. M. Bean productivity under different matric potential and depletion factors of water in soil. 2015. DOI: 10.14583/2318-7670.v03n02a06. Disponível em: <http://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/2039/pdf>. Acesso em: 22 mai. 2024.
- CALVACHE, A. M.; REICHARDT, K.; MALAVOLTA, E.; BACHI, O. O. S. Efeito da deficiência hídrica e da adubação nitrogenada na produtividade e na eficiência do uso de água em uma cultura do feijão. **Scientia Agricola**, v. 54, p. 232-240, 1997. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-90161997000200019>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sa/a/mtQkV39NbskQmRfzyqrc8qK/>. Acesso em: 15 nov. 2024.
- CHAI, Q.; GAN, Y.; ZHAO, C.; XU, H. L.; WASKOM, R. M.; NIU, Y.; SIDDIQUE, K. H. M. Regulated deficit irrigation for crop production under drought stress: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, v. 36, p. 1-15, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0338-6>. Acesso em: 20 dez. 2024.
- COELHO, C., VALCACER-COELHO. O padrão do consumidor de arroz e feijão no estado de Goiás. **Arroz e feijão**, p. 71, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Alcido-Wander/publication/354600782_Capitulo_5_O_arroz_e_o_feijao_no_Brasil_e_no_mundo/links/6141c88627dcdd633a5141f5/Capitulo-5-O-arroz-e-o-feijao-no-Brasil-e-no-mundo.pdf#page=72. Acesso em: 01 mar. 2024.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Produção De Grãos – Feijão, Milho E Soja. **Caderno Setorial Etene**. v. 4, p.1-11, 2020.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Perspectivas para a agropecuária. Vol. 9, safra 2021/22, Edição Grãos. Brasília: 2021. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/perspectivaspara-a-agropecuaria>. Acesso em: 27 abr. 2024.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Safra 2024/25, 1º levantamento. Brasília: 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 10 nov. 2024.

DENG, C. ZHANG, N. LIANG, X. HUANG T, LI, B. *Bacillus aryabhattai* LAD impacts rhizosphere bacterial community structure and promotes maize plant growth. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.12032>. Disponível em:10.1002/jsfa.12032. Acesso em: 22 jan. 2025.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Las necesidades de água de los cultivos**. Roma: FAO, v. 24. 194 p. 1990.

DOORENBOS, J. **Efeito da água no rendimento das culturas**. UFPB, 1994.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Efeito da agua no rendimento das culturas. Campina Grande: UFPB, 1994. 306 p. (FAO. Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 33). Tradução de H. R. Gheyi; A. A. de Sousa; F. A. V. Damasceno; J. F. de Medeiros.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Bactéria encontrada no mandacaru vira bioproduto que promove tolerância à seca em plantas. **Embrapa**, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/60941801/bacteria-encontrada-no-mandacaru-vira-bioproduto-que-promove-tolerancia-a-seca-em-plantas>. Acesso em: 26 jun. 2024.

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos, 3ª ed., Rio de Janeiro, 2013. 353 p.

FAOSTAT. Crops. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acesso em: 16 mai. 2024.

FAROOQ, M.; HUSSAIN, M.; UL-ALLAH, S.; SIDDIQUE, K. H. M. Physiological and agronomic approaches for improving water-use efficiency in crop plants. *Agricultural Water Management*, v.219, p.95–108, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.04.010>GADDI. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377418316913>. Acesso em: 08 jan. 2025.

FRAIRE-VELÁZQUEZ, S; BALDERAS-HERNÁNDEZ, V. E. I. Abiotic stress in plants and metabolic responses. **Abiotic stress-plant responses and applications in agriculture**, p. 25-48, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/54859>. Disponível em: http://148.217.50.3/jspui/bitstream/20.500.11845/621/1/InTech-Abiotic_stress_in_plants_and_metabolic_responses.pdf. Acesso em: 20 jan. 2025.

FULANETI, S, F. Opções de bactérias na coinoculação na cultura da soja. 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/25956/>

DIS_PPGAGRONOMIA_2022_FULANETI_FERNANDO.pdf?sequence=1. Acesso em: 01 jan. 2025.

GITZ, V.; MEYBECK, A.; LIPPER, L.; YOUNG, C. D.; BRAATZ, S. Climate change and food security: risks and responses. **Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) Report**, v. 110, p. 2-4, 2016. Disponível em: https://ciheam.org/uploads/attachments/250/06_Meybeck_WL_37.pdf. Acesso em: 05 abr. 2024.

GRIGOLO, S.; FIOREZE, A. C. C. L.; DENARDI, S.; VACARI, J. Implications of univariate and multivariate analyses on the dissimilarity of common bean accessions. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v. 17, n. 3, p. 351-360. DOI: <https://doi.org/10.5965/223811711732018351>. Disponível em: <https://www.revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/9324>. Acesso em: 28 dez. 2024.

GUIMARÃES, C. M. Relações hídricas. In: Araújo, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L.F. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba, SP: POTAFOS. 1996. 786 p.

HU, C.; YANG, J.; QI, Z.; WU, H.; WANG, B.; ZOU, F.; ...; LIU, Q. Heat shock proteins: Biological functions, pathological roles, and therapeutic opportunities. *MedComm*, v. 3, n. 3, p. e161, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1002/mco2.161>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/mco2.161>. Acesso em: 24 nov. 2024.

HUNGRIA, M; NOGUEIRA, M. A; ARAUJO, R. S. Co-inoculation of soybeans and common beans with rhizobia and azospirilla: strategies to improve sustainability. **Biology and fertility of soils**, v. 49, p. 791-801, 2013. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00374-012-0771-5>. Aceso em: 25 out. 2024.

HUSSAIN, A.; AHMAD, M.; NAFEES, M.; IQBAL, Z., LUQMAN, M; JAMIL, M.; AHMAD, P. Plant-growth-promoting *Bacillus* and *Paenibacillus* species improve the nutritional status of *Triticum aestivum* L. **Plos one**, v. 15, n. 12, p. e0241130, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0241130>. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0241130>. Acesso em: 02 dez. 2024.

JESUS SANTOS, R., DO NASCIMENTO, M. N., CAMILLOTO, G. P., DE OLIVEIRA, U. C.; DOS SANTOS, F. S. Restrição hídrica como estratégia no cultivo de *talinum fruticosum* (L.) Juss.(*Talinaceae*). **Revista Caatinga**, v. 37, p. e12183-e12183, 2024.

JUNIOR, C. F. G.; SIMONETTI, A. P. M. M.; VALLE, K. J. S. DO. Tratamento de sementes com a utilização de *Bacillus aryabhattai* em diferentes doses na cultura da soja. In: *Ciências agrárias: práticas e inovações*. **Atena Editora**. p. 91–102, 2024. DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.6492413046>. Disponível em: <https://atenaeditora.com.br/catalogo/post/tratamento-de-sementes-com-a-utilizacao-de-bacillus-aryabhattai-em-diferentes-doses-na-cultura-da-soja>. Acesso em: 02 jan. 2025.

KASPER, S.; CHRISTOFFERSEN, B.; SOTI, P.; RACELIS, A. Abiotic and biotic limitations to nodulation by leguminous cover crops in South Texas. **Agriculture, Basiléia**, v. 9, n. 10, p. 1-20, sep. 2019. DOI:

<https://doi.org/10.3390/agriculture9100209>. Disponível em:

<https://www.mdpi.com/2077-0472/9/10/209>. Acesso em: 28 out. 2024.

KHATUN, M.; SARKAR, S.; ERA, F. M.; ISLAM, A. M.; ANWAR, M. P.; FAHAD, S.; ISLAM, A. A. Drought stress in grain legumes: Effects, tolerance mechanisms and management. **Agronomy**, v. 11, n. 12, p. 2374, 2021. DOI:

<https://doi.org/10.3390/agronomy11122374>. Disponível em:

<https://www.mdpi.com/2073-4395/11/12/2374>. Acesso em: 20 dez. 2024.

KIRDA, C. Deficit irrigation scheduling based on plant growth stages showing water stress tolerance. **Food and Agricultural Organization of the United Nations, Deficit Irrigation Practices, Water Reports**, v. 22, n. 102, p. 3-10, 2002. Disponível em: <https://www.fao.org/4/y3655e/y3655e03.html>. Acesso em: 20 abr. 2024.

KOKARE, C. R.; CHAKRABORTY, S.; KHOPADE, A. N.; MAHADIK, K. R. Biofilm: Importance and applications. **Indian Journal of Biotechnology**, v. 8, p. 159-168, 2009. Disponível em:

<https://nopr.niscpr.res.in/bitstream/123456789/3883/1/IJBT%208%282%29%20159-168.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2024.

KRUL, Elaine S. Calculation of nitrogen-to-protein conversion factors: A review with a focus on soy protein. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 96, n. 4, p. 339-364, 2019.

LEE, S.; KA, J. O.; SONG, H. G. Growth promotion of *Xanthium italicum* by application of rhizobacterial isolates of *Bacillus aryabhattai* in microcosm soil. **The Journal of Microbiology**, v. 50, p. 45-49, 2012. DOI: 10.1007/s12275-012-1415-z. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/S12275-012-1415-Z>. Acesso em: 10 dez. 2024.

MADIGAN, M.T.; MARTINKO, J.M.; PARKER, J. Microbiologia de Brock. **Prentice-Hall**. P. 608, 2004.

MAGRINI, M. B.; CABANC, G.; LASCIALFARI, M.; PLUMECOCQ, G.; AMIOT, M. J.; ANTON, M.; WERY, J. Peer-reviewed literature on grain legume species in the WoS (1980–2018): A comparative analysis of soybean and pulses. **Sustainability**, v. 11, n. 23, p. 6833, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11236833>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/23/6833>. Acesso em 13 jun. 2024.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas; princípios e aplicações. 1989.

MANTOVANI, E. C., SOARES, A. A., LIMA, L. A. (2020). Eficiência do uso da água na agricultura irrigada. **Agricultura irrigada no Brasil: Ciência e tecnologia**. ESALQ, 2020. p. (149 -168).

MARTIN, J. D., CARLESSO, R., AIRES, N. P., GATTO, J. C., DUBOU, V., FRIES, H. M., SCHEIBLER, R. B. Irrigação deficitária para aumentar a produtividade da água na produção de silagem de milho. **Irriga**, edição especial. p. 192–205, 2012.

Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/447/244>. Acesso em: 12 fev. 2025.

MAY, A.; MOREIRA, B. R. A.; MASCARIN, G. M.; VIANA, R. S.; SANTOS, M. S.; SILVA, E. H. F. M.; MELO, I. S. Induction of drought tolerance by inoculation of *Bacillus aryabhattai* on sugarcane seedlings. **Científica**, v. 47, n. 4, p. 400-410, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.15361/1984-5529.2019v47n4p400-410>. Disponível em: <https://cientifica.dracena.unesp.br/index.php/cientifica/article/view/1258/746>. Acesso em: 05 jan. 2025.

MEHLICH, A. Determination of cation-and anion-exchange properties of soils. **Soil science**, v. 66, n. 6, p. 429-446, 1948. Disponível em: https://journals.lww.com/soilsci/citation/1948/12000/determination_of_cation__and_a_nion_exchange.4.aspx. Acesso em: 15 jan. 2025.

MELO, I. S. Inoculante à base de *Bacillus aryabhattai* para mitigação do estresse hídrico. **Pesquisas, avanços e futuro : o crescimento da Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) e o empenho de pesquisadores e empresas na busca pela sustentabilidade agrícola**, 2022. Acesso em: 26 nov. 2024.

MENDES, R.; TAKETANI, N. F.; TAKETANI, R. G. **Efeito do aquecimento global sobre a comunidade microbiana do solo**. 2017. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1087839>. Acesso em: 01 ago. 2024.

MIORINI, T. J. J. **Produtividade do feijoeiro sob supressão de irrigação em diferentes fases fenológicas**. 2012. 111 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/items/fb96335d-a93a-4bba-b46e-3ba3aa92823c>. Acesso em: 10 nov. 2024.

MOHANTY, P.; SINGH, P. K.; CHAKRABORTY, D.; MISHRA, S.; PATTHAIK, R. Insight into the role of PGPR in sustainable agriculture and environment. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 5, p. 667150, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.667150>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/sustainable-food-systems/articles/10.3389/fsufs.2021.667150/full>. Acesso em: 20 nov. 2024.

MONTEIRO, J. G.; CRUZ, F. J. R.; NARDIN, M. B.; SANTOS, D. M. M. D. Growth and proline content in pigeon pea seedlings subjected to osmotic stress and to exogenous putrescine. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, p. 18-25, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014000100003>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/XkNBQjh6kKszWFRvF39sCr/abstract/?lang=en>. Acesso em: 12 abr. 2024.

MORAIS J. F. A de. **Avaliação de consórcios bacterianos para mitigar os efeitos do estresse hídrico em culturas de soja**. 2018. 40 f. Dissertação (Mestre em Ciências) - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2018.

OLIVEIRA, P. D.; KLUTHCOUSKI, J. Práticas indutoras do crescimento radicular das principais culturas anuais, com ênfase na cultura do feijoeiro. **Fundamentos para**

uma agricultura sustentável, com ênfase na cultura do feijoeiro, 2009. p. 185 - 223. Disponível em:
<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/658125>. Acesso em: 28 out. 2024.

OLIVEIRA, A. L. P.; SANTOS, J. P.; SILVA, G. F.; PUTTI, F. F. Uso de bioinsumos como possibilidade de atenuação dos efeitos do estresse hídrico. *OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA*, v. 22, n. 9, p. e6566-e6566, 2024. DOI: <https://doi.org/10.55905/oelv22n9-039>. Disponível em:
<https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/6566>. Acesso em: 12 set. 2024.

PARK, Y. G.; MUN, B. G.; KANG, S. M.; HUSSAIN, A.; SHAHZAD, R.; SEO, C. W.; YUN, B. W. *Bacillus aryabhattai* SRB02 tolerates oxidative and nitrosative stress and promotes the growth of soybean by modulating the production of phytohormones. **PLoS One**, v. 12, n. 3, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173203>. Disponível em:
<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0173203>. Acesso em: 28 jan. 2025.

PAVANI, L. C.; LOPES, A. S.; PEREIRA, G. T. Desenvolvimento da cultura do feijoeiro submetida a dois sistemas de manejo de irrigação e de cultivo. *Acta Scientiarum Agronomy*, v.31, p.453-459, 2009. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v31i3.621>. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/asagr/a/df97D5dvt76TMkTd4CyrRt/?lang=pt>. Acesso: 14 jun. 2024.

RAWAT, P; SHANKHDHAR, D; SHANKHDHAR, S. C. Synergistic impact of phosphate solubilizing bacteria and phosphorus rates on growth, antioxidative defense system, and yield characteristics of upland rice (*Oryza sativa* L.). **Journal of Plant Growth Regulation**, p. 1-13, 2021. Disponível em:
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00344-021-10458-4>. Acesso em: 15 out. 2024.

ROSTON, A. J.; BULISANI, E. A. **Feijão**. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. 1988. 16p. (*Instrução Prática*, n. 219).

SAAD, M.; EIDA, A. A.; HIRT, H Tailoring plant-associated microbial inoculants in agriculture: a roadmap for successful application. **Journal of experimental botany, Oxford**, v. 71, n. 13, p. 3878-3901, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa111>. Disponível em:
<https://academic.oup.com/jxb/article/71/13/3878/5802757?login=false>. Acesso em: 23 nov. 2024.

SALVADOR, C. A. Análise da conjuntura agropecuária, safra 2011/12 – Feijão. 2011. Disponível em:
<https://publicacoes.epagri.sc.gov.br/rac/article/download/590/493/4283>. Acesso em: 20 mai. 2024.

SANDINI, I. E.; PACENTCHUK, F.; HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; da CRUZ, S. P.; NAKATANI, A. S.; ARAUJO, R. S. Seed Inoculation with *Pseudomonas*

fluorescens Promotes Growth, Yield and Reduces Nitrogen Application in Maize. 2019. Disponível em: http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/feijao_2011_12.pdf. Acesso em: 16 out. 2024. DOI: 10.17957/IJAB/15.1210. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1130750>. Acesso em: 10 jan. 2025.

SANTOS, J. B.; DEL PELOSO, M. J.; MELO, L. C.; WENDLAND, A. Botânica. In: CARNEIRO, J. E. S.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. FEIJÃO: do plantio à colheita, **Viçosa**: Ed. UFV, p. 37-63, 2015.

SANTOS, M. M. **Efeitos das bactérias *Bradyrhizobium elkanii* e *Bacillus aryabhattai* no crescimento e desenvolvimento de soja (*Glycine max*) em condições de restrição hídrica**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado – Ciências Biológicas) – Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2024.

SILVA, C. da.; RIBEIRO, J. R. Zoneamento agroclimático para o feijão (2a safra) nos Estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Bahia . In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H (Org.). **Fundamentos para uma agricultura sustentável, com ênfase na cultura do feijoeiro**. Santo Antônio de Goiás. EMBRAPA, 2009. p. 97 - 104.

SILVA, J. G. da.; NASCENTE, A. S.; MACHADO, A. L. T. **Colheita mecanizada do feijoeiro: passado, presente e futuro**. Embrapa Arroz e Feijão, 2020. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1127024/1/CNPAF-2020-circtecn92.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2024.

SILVA, G. F. **Microrganismos para redução dos efeitos do estresse hídrico na cultura do feijão**. 2024. 16 f. Relatório (Estágio de pós doutorado) – Universidade Estadual Paulista UNESP – Faculdade de Ciências e Engenharia, Tupã, 2024.

SMITH, M. R.; VEMEKLAAAS, E.; POLANIA, J.; RAO, I. M.; BEEBE, S. E.; MERCHANT, A. Field drought conditions impact yield but not nutritional quality of the seed in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **PLoS One**, v. 14, n. 6, p. e0217099, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217099>. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0217099>. Acesso em: 27 out. 2024.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. da. Manejo de irrigação. Embrapa Arroz e Feijão, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/feijao/producao/manejo-de-irrigacao>. Acesso em: 19 mar. 2025.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. The Benjamin/Cummings, 1991.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. **Artmed Editora**, 2017.

TATAGIBA, S. D.; FIGUEIREDO, A. L. P.; BRANCALEONI, L.; CARELLI, C.; MODOLON, G. F. Crescimento e produção do feijoeiro comum, cultivar “Querência”,

do grupo carioca, submetido à restrição hídrica em ambiente protegido. *Agropecuária Científica no Semiárido*, v. 20, n. 2, p. 26-34, 2024.

VIEIRA, C.; JÚNIOR, T. J. P.; BORÉM, A. Feijão. 2 ed. Viçosa: UFV - Universidade Federal de Viçosa, 2006. 600p.

VURUKONDA, S. S. K. P.; VARDHARAJULA S. SHRIVASTAVA M.; SKZ, A. Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting rhizobacteria. **Microbiological Research**, v. 184, p. 13-24, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2015.12.003>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0944501315300380>. Acesso em: 20 jan. 2025.

WUTKE, E. B.; CHIORATO, A. F.; ESTEVES, J. A. F.; CARBONELL, S. A. M.; AMBROSANO, E. J.; LEMOS, L. B.; SORATTO, R. P.; ARF, O.; CANTARELLA, H. Feijão. Boletim 100: recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas: IAC, 2022. p. 246-249.

ZLOBIN, I. E.; IVANOV, Y. V.; KARTASHOV, A. V.; SARVIN, B. A.; STAVRIANIDI, A. N.; KRESLAVSKI, V. D.; KUZNETSOV, V. V. Impact of weak water deficit on growth, photosynthetic primary processes and storage processes in pine and spruce seedlings. **Photosynthesis research**, v. 139, p. 307-323, 2019. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11120-018-0520-1>. Acesso em: 23 jun. 2024.