

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.itl.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.itl.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.itl.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 Agrônômicas (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.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A produção do feijoeiro no Brasil

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) pertence à família das Fabaceae, vem sendo cultivado há milhares de anos pelo homem, no entanto, não se sabe ao certo o local de sua origem. Algumas evidências sugerem que a origem e a domesticação do feijoeiro ocorreram na região da Mesoamérica, por volta de 7000 anos a.C, uma vez que cultivares selvagens foram encontrados nessa região, especialmente no México (Bezerra *et al.*, 2022).

No Brasil, o consumo de feijão é uma prática com raízes históricas, remontando aos povos indígenas do século XVI, o que reforça a hipótese de sua origem na América do Sul (Bezerra *et al.*, 2022). Além de seu valor cultural, o feijão desempenha um papel essencial na alimentação dos brasileiros, sendo uma rica fonte de proteína vegetal, carboidratos, vitaminas do complexo B, minerais como cálcio, ferro, magnésio e zinco, além de fibras alimentares. Por ser acessível, o feijão é amplamente consumido por diferentes classes sociais, especialmente por aquelas com menor poder aquisitivo, o que contribui para sua presença constante na mesa da população (Coelho; Valcacer-Coelho, 2021).

No ranking mundial dos principais produtores de feijão, o Brasil ocupa a segunda colocação, ficando atrás apenas da Índia (FAOSTAT, 2023). De acordo com dados da Companhia Nacional de Abastecimento (2024), a área cultivada no Brasil nesta safra alcançou uma produção de 3.259,4 mil toneladas, 0,5% maior que no ano anterior, com uma área de 2.880,1 mil hectares, 0,8% maior que a safra de 2022/2023. A região Nordeste se destaca em extensão de área e plantio, ultrapassando 1,5 milhão de hectares, enquanto as regiões Sul e Sudeste do Brasil somam menos de 500 mil hectares no mesmo período. Em relação a produção, o Paraná é o estado que mais se destaca, com 580 mil toneladas, seguido por Minas Gerais, com 563 mil toneladas e pela Bahia, com 387 mil toneladas (CONAB, 2021).

No Brasil, diversas espécies de feijão são cultivadas, entretanto para fins de regulamentação técnica é considerado apenas duas espécies, sendo feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) e feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.). O ciclo da cultura varia de acordo com a cultivar e as condições climáticas do ambiente, podendo apresentar ciclos de 65 a 100 dias, se destacando como uma cultura adequada para diferentes

sistemas agrícolas, desde altamente tecnológicos até para sistemas de subsistência com baixo uso da tecnologia (EMBRAPA, 2008; Salvador, 2011). Graças ao seu ciclo curto, a sua versatilidade, as tecnologias de produção disponíveis e a alta demanda da população, no país a depender da região, é possível cultivar feijão em até três safras distintas.

A primeira safra é denominada de “feijão das águas” semeado nos meses de agosto a novembro e colhido de novembro a fevereiro, seu cultivo se destaca nas regiões Sul e Sudeste; a segunda safra é denominada como “safrinha” e popularmente conhecida como “feijão da seca”, semeado de dezembro a março e colhido de março a junho, mais cultivado nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste; já a terceira safra, “safra de inverno” cultivada sob irrigação de pivô central, principalmente por produtores de alto nível tecnológico das regiões Centro-Oeste e Sudeste do país, semeado de abril a julho e colhido de julho a outubro (CONAB, 2020).

No entanto, a disponibilidade hídrica nas três safras é distinta e através do conhecimento da necessidade de água requerida pela cultura é possível escolher a época de semeadura da cultura de acordo com a pluviometria da região, isso auxilia na maximização da produtividade da cultura. Como o feijoeiro é sensível ao déficit hídrico, sua produtividade responde à disponibilidade hídrica até um certo ponto, dentro desse limite o aumento na quantidade de água disponível está diretamente relacionado ao incremento na produtividade da planta (Doorenbos e Pruitt, 1976).

2.2 Necessidade hídrica do feijoeiro

A planta de feijão é muito afetada pela condição hídrica do solo, em que tanto a deficiência quanto o excesso de água reduzem drasticamente a sua produtividade (Stone e Silveira, 2023). São aplicados lâminas de água entre 100 a 150 mm por mês até o período de maturação, e em média são necessárias 1.750 kg de água para produzir 1 kg de matéria seca e grãos de feijão (Calvache *et al.*, 1997; Roston ; Bulisani, 1988). Ao longo do ciclo a necessidade hídrica da cultura varia de 300 mm a 500 mm de água, distribuído em seus diferentes estádios fenológicos, destacando as fases críticas a germinação, florescimento e formação das vagens, essas que requerem água para garantir plantas com bom rendimento (Brito *et al.*, 2015).

Condições climáticas estáveis é essencial para a produção agrícola, no entanto as mudanças climáticas vêm afetando muito a agricultura, especialmente no

fornecimento de água. Nos últimos anos, a ocorrência de épocas de seca tem sido observada com maior frequência em diversas regiões do planeta, sendo a seca para produção agrícola um dos principais fatores que mais prejudicam o desenvolvimento e o crescimento das plantas ocasionando muitos problemas, entre essas perdas de safras agrícolas (Gitz *et al.*, 2017; Zlobin *et al.*, 2018). O déficit hídrico é responsável por causar alterações na planta, afetando a fotossíntese e o funcionamento do metabolismo celular (Monteiro *et al.*, 2014). A resposta da planta ao déficit hídrico consiste no decréscimo da produção da área foliar, no fechamento estomático, na aceleração da senescência e na abscisão das folhas (Taiz e Zeiger, 1991).

A deficiência hídrica impacta negativamente em vários estádios de desenvolvimento do feijoeiro, dentre esses estádios os que são considerados mais críticos são o V0, V1, R6 e R8 (Doorenbos, 1994). No V0, fase que corresponde a germinação, a escassez hídrica impede a planta de absorver a quantidade necessária de água para iniciar o processo de germinação, sem água as plantas consomem suas reservas, impossibilitando seu desenvolvimento, que pode provocar o apodrecimento e conseqüentemente a morte da semente. Em V1, a falta de água impede que plântulas rompam o solo, dificultando o desenvolvimento radicular, que resulta em plântulas fracas, comprometendo a população de plantas e a produção (Doorenbos, 1994).

O déficit hídrico na pré-floração R5, reduz o vingamento das flores, causa abortamento e a queda das flores e o prolongamento do ciclo do feijoeiro (Oliveira; Kluthcouski, 2009). No florescimento R6, reduz a altura das plantas e o número de sementes por vagens, devido ao abortamento e queda das flores há também redução do número de vagens por plantas, conseqüentemente reduzindo a produtividade do feijoeiro (Silva; Ribeiro, 2009).

Quando o déficit ocorre durante a formação de vagens (R7) causa o abortamento dos óvulos, produzindo vagens chochas ocasionado pela insuficiência de fotossintetização (Guimarães, 1996). No enchimento dos grãos (R8) provoca o abortamento de vagens recém-formadas e afeta a formação das sementes, ocasionando a produção de vagens chochas nas pontas, causando a diminuição do peso que prejudicará a produção final (Oliveira; Kluthcouski, 2009). Comparando os efeitos da restrição hídrica nos estádios da planta, um déficit de 50% no período vegetativo resulta em uma redução de 10% no rendimento, enquanto o mesmo déficit

durante a floração e o enchimento de vagens provoca reduções de 55% e 38% na produção, respectivamente (Calvache *et al.*, 1997).

Por outro lado, na fase de maturação, a necessidade hídrica do feijoeiro diminui, pois as plantas já completaram seu desenvolvimento e o foco se volta para o processo de secagem dos grãos (Vieira *et al.*, 2006). Níveis baixos de umidade no solo durante a maturação favorecem a secagem natural dos grãos, contribuindo para facilitar a colheita e preservar a qualidade final do grão. Em contrapartida, a presença de umidade excessiva nesse período é prejudicial, pois compromete a qualidade dos grãos, deixando-os propensos ao desenvolvimento de doenças fúngicas e brotamento precoce, além de comprometer a qualidade visual do grão por conta do enrugamento que o excesso de água causa (Vieira *et al.*, 2006).

2.3 Estratégia de Irrigação com Déficit Hídrico

As mudanças climáticas vêm fazendo os especialistas e agricultores tomarem novos rumos no manejo da produção agrícola. Preocupados com as crises hídricas passadas, como em 2014 e 2015 que afetou principalmente a Região Sudeste, e a de 2017, que impactou a Região Nordeste, trouxe a atenção das pessoas sobre a falta de água e seu uso, especialmente, a água destinada à agricultura, trazendo questionamentos sobre o porquê do uso da irrigação. No entanto, essa valorização da água como um recurso público finito e a conscientização sobre a importância do seu uso racional são fundamentais para assegurar a disponibilidade hídrica em períodos de baixa pluviometria (Basso, 2020).

A irrigação deficitária ou irrigação com déficit é a prática de irrigar uma cultura com um volume de água menor que o necessário, ocasionado pela limitada disponibilidade de água, ou quando os custos para a irrigação são elevados (Martin *et al.*, 2012). O principal objetivo desta prática é aumentar a eficiência do uso de água de uma cultura, evitando irrigações que têm pouco impacto sobre a produtividade. Assim, a estratégia de irrigação deficitária é importante para a economia do uso da água e para os aspectos financeiros (Chai *et al.*, 2016)

Ao causar um possível estresse hídrico à cultura, a planta vai responder com perdas na produção, no entanto, ao reduzir o custo operacional, esta perda na produtividade pode ser compensatória, e em alguns casos pode haver aumento na

qualidade dos grãos, pois haverá menor número de grãos, porém com maior peso (Mantovani *et al.*, 2020).

Algumas práticas agronômicas podem auxiliar na redução da demanda de água pela cultura, como o uso de coberturas mortas, preparo do solo, diminuição do estande de plantas, época de semeadura flexível e a seleção de variedades de ciclos curtos (Kirda, 2002). No entanto, para impor o déficit hídrico na cultura, considerando pouca perda na produção, são necessários conhecimentos sobre a necessidade hídrica em cada estágio, a verificação da umidade do solo, a capacidade de retenção do solo e a evapotranspiração da cultura (ETc) (Mantovani *et al.*, 2020).

Miorini (2012), verificou a restrição hídricas na cultura do feijoeiro em suas diferentes fases (vegetativa, floração, enchimento ou maturação), concluindo que a irrigação em apenas uma das fases do ciclo é inviável, causando perdas de produção, no entanto quando combinou a irrigação nas fases vegetativa e floração, houve uma redução de apenas 3,5% em relação às plantas que foram irrigadas em todas as fases, podendo tornar viável esse manejo da irrigação deficitária.

Conhecendo a fenologia e as fases críticas da cultura do feijoeiro é possível associar a irrigação deficitária com o uso de bioinsumos. A primeira técnica consiste em aplicar uma quantidade de água inferior à necessidade total da cultura de forma controlada, sem comprometer significativamente a produtividade, esse manejo é realizado por meio de estratégias como o aumento do turno de rega, menor vazão nos emissores reduzindo o volume de água aplicado por unidade de tempo, e uma menor lâmina de irrigação, limitando o total de água fornecida em cada aplicação (Farooq *et al.*, 2019). E junto com a utilização de bioinsumos a base de *B. aryabhattai*, são capazes de promover o desenvolvimento das raízes e facilitar a absorção de água nas camadas mais profundas do solo, promover o crescimento das plantas, aumentar a tolerância das plantas e melhorar a produtividade em ambientes com baixa disponibilidade hídrica (Silva, 2024).

2.4 Inoculação de sementes com *Bacillus aryabhattai* no feijoeiro

Entre os diversos bioinsumos utilizados na agricultura, destaca-se os inoculantes, que são produtos de fácil aquisição e de baixo valor comercial. No mercado é possível optar por inoculantes líquidos, geis e turfosos, o que irá mudar é o tipo de aplicação (via sementes ou via sulco de semeadura), em que o inoculante a

base de turfa só pode ser utilizado via semente e os demais podem optar por via semente ou via sulco. No método de inoculação via semente, é utilizado doses menores, em que é basicamente umedecer as sementes com o bioinsumo, de forma que haja uma mistura uniforme. Enquanto, a aplicação via sulco se deve pulverizar o bioinsumo, geralmente em maiores doses diretamente no solo, a fim de evitar o contato do tratamento químico das sementes com as bactérias do inoculante. (EMBRAPA, 2021).

O *B. aryabhatai* é uma rizobactéria gram positiva, identificada pela primeira vez em 2009, e desde então vêm sendo isoladas da rizosfera de vários lugares do mundo. No Brasil, essa espécie foi encontrada nas rizosferas do cacto de mandacaru (*Cereus jamacaru*), que quando processado dá origem ao bioproduto comercializado (Embrapa, 2021). A inoculação de *B. aryabhatai* é realizada via semente, em que os microrganismos presentes em sua composição são capazes de promover resistência às condições climáticas a que a planta é exposta, criando mecanismos e estruturas para suportar os estresses abióticos. O *B. aryabhatai* é capaz de reduzir os efeitos do déficit hídrico e assegurar a produtividade da cultura, através da formação de exopolissacarídeos em formato de biofilme, que mantêm as raízes úmidas (Kokare, 2009).

Os benefícios da inoculação com *B. aryabhatai* foram relatados por diversos pesquisadores. Lee *et al.* (2012) relata a habilidade desta rizobactéria de promover crescimento em plantas de milho, através da produção de fitohormônios como AIA, ácido abscísico, giberelina e da solubilização de fosfato. Ainda relata que essas bactérias produzem osmólitos compatíveis, como betaínas, que auxiliam durante estresses ambientais, e formam biofilmes que ajudam na retenção de umidade e proteção das plantas. Neste mesmo sentido, Melo (2022) confirma que a inoculação das sementes com *B. aryabhatai* promove a formação de exopolissacarídeos em formato de biofilme, capaz de manter a hidratação das raízes em períodos de seca temporários, como veranicos.

Essa abordagem busca reduzir os custos de irrigação e otimizar o uso da água, mantendo a produtividade em níveis satisfatórios, uma vez que os momentos críticos da cultura, em que a disponibilidade hídrica é essencial para o desenvolvimento, são conhecidos. De certo modo, a agricultura necessita de maneiras de produzir utilizando menor quantidade de água, levando em consideração as diversas mudanças climáticas e as faltas de chuva (Oliveira *et al.*, 2024).

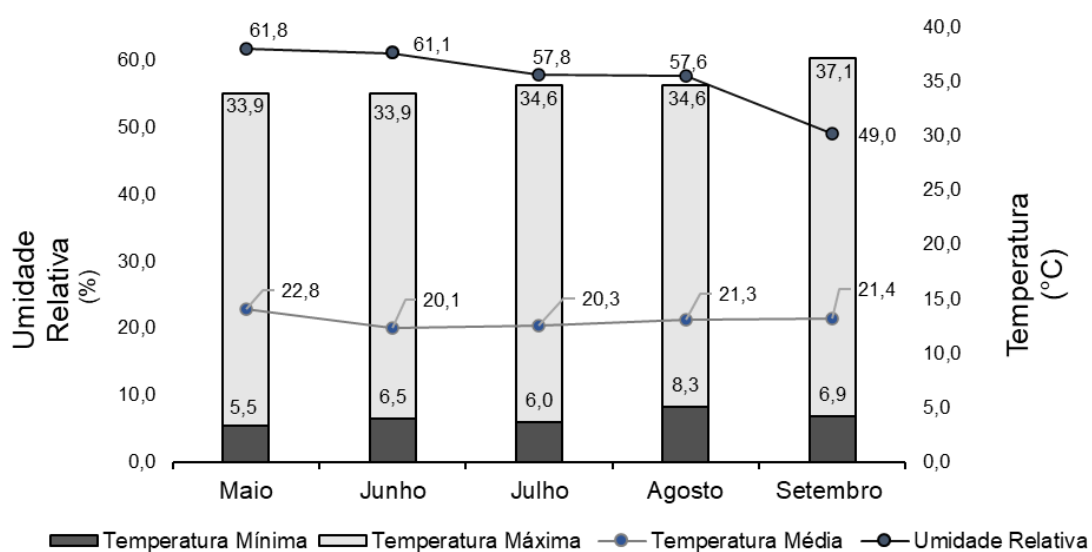
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da Área Experimental

O experimento foi conduzido no período de outono-inverno do ano de 2024, em casa de vegetação na Universidade Professor Edson Antônio Velano (Unifenas), no município de Alfenas - MG. O local apresenta as seguintes coordenadas geográficas: latitude 21°27'21" S, longitude 45°56'39" W, e altitude de 843 metros. A casa de vegetação possui dimensão de 120 m² de área total, com 20 m de comprimento e 6 m de largura, alvenaria lateral de 0,4 m de altura, estrutura metálica com tetos em arco de altura máxima de 5 m, coberta por plástico transparente (150 micras) e suas laterais com tela de sombrite.

De acordo com classificação de Köppen e o zoneamento climático de Minas Gerais, Alfenas está inserida à zona climática do grande Grupo C, especificamente CWa e CWb, com características de clima temperado úmido e moderadamente quente, apresentando invernos seco e verão úmido, com um período de seca de três a quatro meses. Na Figura 1, podem ser observadas a média da umidade relativa, a temperatura mínima e máxima do local de instalação do experimento durante sua condução.

Figura 1 - Variáveis climáticas dentro do ambiente protegido durante a condução do experimento



Fonte: Autor.

3.2 Características do solo e correção da acidez

Realizou-se a coleta de solo, classificado como Latossolo, na camada de 0 - 0,20m, em seguida foram realizadas análises químicas e físicas no Laboratório de Solos da Unifenas conforme evidenciado na Tabela 1 e 2.

Tabela 1 – Análise química do solo utilizado na condução do experimento.

pH	MO	P Mehlich	K+	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V
CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	----- cmolc dm ⁻³ -----				-----		%
5,3	17	2	0,4	2,2	0,7	3,1	3,3	6,4	52

Fonte: Mehlich, 1953.

Tabela 2 – Análise física do solo utilizado na condução do experimento.

Areia		Total	Argila	Silte	Textura do Solo
Grossa	Fina				
----- g kg ⁻¹ -----					
120	125	245	591	164	Argilosa

Fonte: Embrapa, 2017.

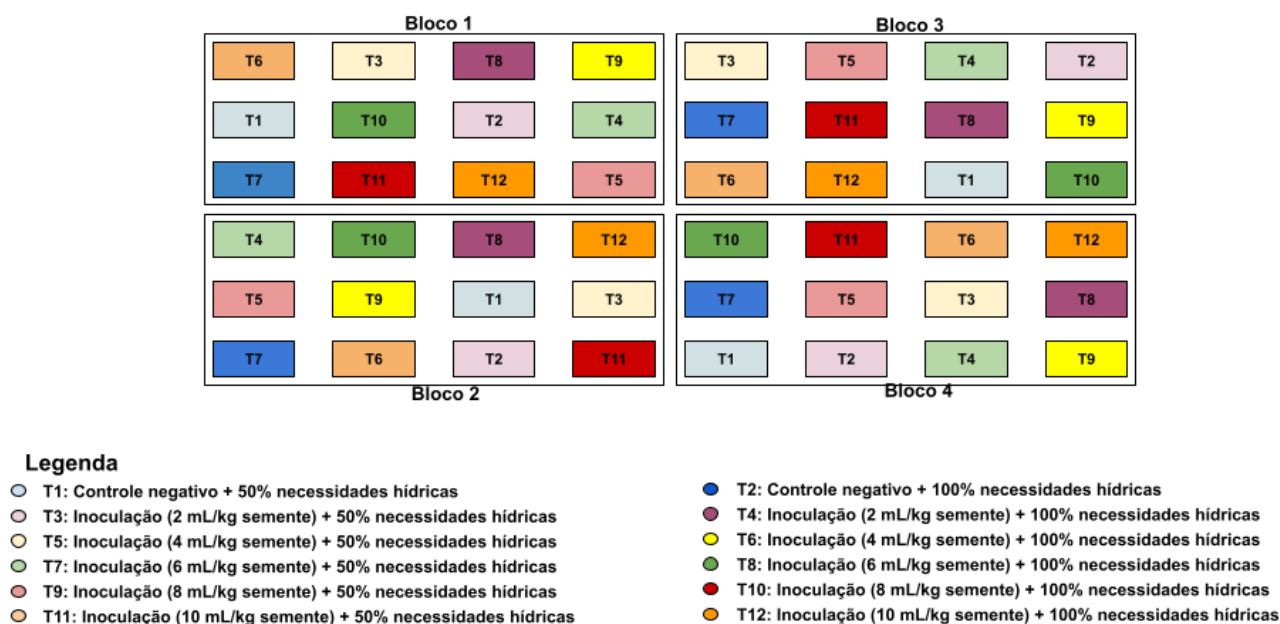
Após a análise, o solo foi peneirado e em seguida amontoado para a correção. A aplicação do calcário seguiu recomendações do Boletim 100 para a cultura do feijoeiro (Wutke *et al.*, 2022). Para a correção da acidez, utilizou-se calcário dolomítico com PRNT de 83%, na dose de 1.420 kg ha⁻¹, correspondendo a 26 g por vaso, considerando o volume de 7 litros por vaso.

3.3 Delineamento e caracterização dos tratamentos

O delineamento experimental adotado foi blocos casualizados, em esquema fatorial 2 x 6, com quatro repetições. O primeiro fator foi constituído por dois manejos de irrigação com 50% e 100% da ETc, denominados como irrigação deficitária (ID) e irrigação plena (IP), respectivamente. O manejo da irrigação foi realizado com 100% da ETc para todos os tratamentos até surgimento da primeira folha trifoliolada (V3), após foi iniciado a irrigação deficitária para os tratamentos de 50% da ETc.

O segundo fator foi composto pelas doses do bioinsumo, sendo: (I) controle negativo sem tratamento prévio 0 mL; (II) inoculação com *B. aryabhatai* na dosagem 2 mL kg⁻¹ de sementes; (III) inoculação com *B. aryabhatai* na dosagem 4 mL kg⁻¹ de sementes; (IV) inoculação com *B. aryabhatai* na dosagem 6 mL kg⁻¹ de sementes; (V) inoculação com *B. aryabhatai* na dosagem 8 mL kg⁻¹ de sementes; (VI) inoculação com *B. aryabhatai* na dosagem 10 mL kg⁻¹ de sementes, conforme representado na Figura 2. Para a condução do experimento, foram utilizadas três plantas por vaso, sendo avaliadas duas plantas por unidade experimental ao final do ciclo da cultura.

Figura 2 - Croqui da área experimental



3.4 Processo de inoculação das sementes

A inoculação das sementes foi realizada no laboratório de Microbiologia da Unifenas, com o auxílio de micropipetas. As sementes foram colocadas em saco plástico e adicionado os produtos, para melhor uniformidade da inoculação foi agitado o saco plástico por 3 minutos. Na inoculação das sementes foram utilizados dois produtos. O primeiro produto utilizado foi a base de *Bacillus aryabhatai*, utilizando a cepa CMAA 1363 com concentração de $1,0 \times 10^8$ UFC mL⁻¹, validada pela Embrapa. Foram utilizadas doses de 2mL, 4mL, 6mL, 8mL e 10 mL por kg⁻¹ de sementes, conforme o tratamento.

Para otimizar a fixação biológica de nitrogênio, foi realizada a coinoculação com *Rhizobium tropici* com concentração de $3,0 \times 10^9$ UFC mL⁻¹, sem variação nas doses, utilizando a dose recomendada pelo fabricante de 2,5 mL por kg⁻¹ de sementes, aplicada uniformemente em todos os tratamentos. No entanto, as doses deste inoculante não foram consideradas como parâmetro de avaliação nesta pesquisa, servindo apenas como auxílio na nodulação e na FBN das plantas.

3.5 Instalação e condução do experimento

O experimento foi instalado em vasos de polietileno com dimensões de 45 x 38 x 28cm de capacidade de 8 litros, contendo 8 furos em sua base e foram preenchidos com 7 kg de solo. O enchimento dos vasos com solo ocorreu sete dias antes da semeadura, e no fundo do vaso foi utilizado tecido não tecido (TNT) para evitar o desenvolvimento radicular para fora e perda de solo. A semeadura foi realizada em 10/05/2024, utilizando oito sementes por vaso. Dez dias após a emergência das plântulas foi realizado o desbaste, permanecendo três plantas por vaso.

As sementes utilizadas foram da cultivar de feijão BRS Estilo, esta que apresenta ciclo normal de 85 a 90 dias (da emergência à maturação fisiológica dos grãos), tem como características porte ereto, sendo adaptada à colheita mecanizada direta, seu hábito de crescimento é indeterminado do tipo II e flores são brancas, seus grãos são claros. As sementes utilizadas obtiveram tratamento de semente industrial com inseticidas à base de piraclostrobina, tiofanato metílico e fipronil.

Na adubação de semeadura foram aplicadas 46,5; 243,9 e 32,2 kg ha⁻¹ de N, P e K, respectivamente. As adubações de cobertura foram divididas em duas épocas, a primeira em V3 (primeira folha trifoliada) com doses de 116,25 e 32,25 kg ha⁻¹ de N e K, respectivamente; e em R5 (pré-floração) com dose de 116,25 kg ha⁻¹ de N. Foi utilizado fertilizante mineral para a adubação, sendo esses, ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio (KCl) como fonte de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente.

Para o controle de pragas dentro da casa de vegetação, foram utilizadas iscas amarelas para a captura de insetos, contendo atrativo com água, melaço de açúcar, laranja e óleo de nem. O controle de pragas com produtos químicos utilizou imidacloprido (300 g ha⁻¹), aplicado nos estádios de V3 (primeira folha trifoliolada), V4, R5 (formação dos botões florais) e R7 (formação das vagens) com o auxílio de uma bomba costal com ponteiro do tipo de leque, mantendo a pressão máxima para

padronizar a aplicação. Finalizando o ciclo da cultura, foi observado a descoloração das vagens, o amarelecimento e caimento das folhas, indicando início da maturação fisiológica (R9). A colheita foi realizada manualmente, em duas plantas por vasos, dando início às avaliações.

3.6 Manejo da irrigação

Para a determinação da irrigação foi utilizado o método do tanque classe A, Allen (1998) instalado no meio da casa de vegetação sobre um palete de madeira a 0,15 m da superfície do solo, utilizando nível para alinhamento e nivelamento da superfície. Para auxiliar nos cálculos da irrigação foi instalado um termo-higrômetro digital, a fim de obter dados de temperatura e umidade relativa de dentro da casa de vegetação.

As leituras da evaporação da água do tanque classe A e do termo-higrômetro foram realizadas diariamente entre os horários das 7:00 e 8:00. Desde o início da condução do experimento a irrigação foi baseada na evaporação do tanque Classe A. Até o início do estágio V3 a irrigação foi realizada considerando irrigação plena (100% da ETc) para todos os tratamentos, a partir deste estágio fenológico, iniciou o manejo da irrigação nos diferentes tratamentos utilizando dois regimes hídricos, irrigação com déficit (ID) e irrigação plena (IP), respectivamente de 50% e 100% da evapotranspiração da cultura (ETc) mantendo até o fim do ciclo do feijoeiro. Para auxiliar no manejo de água da cultura, empregou-se coeficiente da cultura (Kc) levando em consideração a fase de desenvolvimento do feijoeiro (Tabela 3).

Tabela 3 - Coeficiente da cultura KC para as três fases do ciclo do feijoeiro

Fase	Fase da cultura	Kc
Inicial	Germinação ao início da Floração	0,4
Médio	Florescimento ao final do Enchimento	1,15
Final	Maturação do grão	0,35

Fonte: Adaptado de Pavani *et al.*, 2009.

Para determinar a quantidade de água em litros a ser aplicada diariamente foi considerada a evapotranspiração de referência (ET_o) efetuada pela evaporação do tanque (ECA) pelo coeficiente do tanque (K_p) conforme (Allen, 1998). A evapotranspiração da cultura (ET_c) obtida pelo produto do valor da ET_o com o coeficiente da cultura (K_c), utilizando a seguinte fórmula:

$$\text{Lâmina de irrigação: } [(K_t \times ECA) \times K_c] \times AV$$

Em que:

ECA: Evapotranspiração do tanque Classe A em mm;

K_t: Coeficiente do tanque ($0,48 + 0,0045 \times UR$);

ET_o: Evapotranspiração total em mm ($K_t \times ECA$);

K_c: Coeficiente da cultura;

ET_c: Evapotranspiração da cultura em mm dia⁻¹ ($ET_o \times K_c$);

AV: Área do vaso em m².

A suplementação de água para as plantas foi realizada manualmente, via solo para todos os tratamentos, com o auxílio de uma proveta graduada de 1000 mL, sempre após a determinação do cálculo de evapotranspiração da cultura.

3.7 Avaliações

No final do ciclo do feijão foram selecionadas aleatoriamente duas, das três plantas existentes no vaso, para determinar os seguintes parâmetros:

- Altura da planta (AP)

A altura vertical máxima da planta desde a base até o ápice da haste principal. Este parâmetro foi avaliado com auxílio de uma trena metálica graduada em centímetro (cm).

- Altura de inserção da primeira vagem (AIPV)

A medição foi realizada desde o colo da planta até o nó de emissão da primeira vagem, utilizando trena graduada em cm.

- Número de vagens por planta (NVP)

Foi contado o número de vagem em cada planta e calculada a média entre as duas plantas avaliadas.

- Número de grãos por vagem (NGV)

O número de grãos por vagem foi determinado por meio de contagem manual após a debulha das vagens, considerando todos os grãos por vagem, incluindo os grãos afetados pelo efeito do estresse hídrico, com baixo enchimento ou chochos.

- Número de grãos por planta (NGP)

Determinado por meio da contagem dos grãos de forma manual de cada planta, considerando os grãos que não encheram e chochos, por terem sido afetados pelo estresse hídrico.

- Produção de grãos por planta (P)

Após a debulha, os grãos de cada planta foram secos em estufa de circulação de ar forçada, a 65 °C, até atingir peso constante. Posteriormente, foram pesados em balança de precisão e a massa corrigida para 13% de umidade. Os resultados foram expressos em g planta⁻¹.

- Massa de matéria seca da raiz (M)

Após a limpeza das raízes do solo, as raízes frescas foram secas em estufa de circulação de ar forçada a 55 °C por 72 horas. Posteriormente foram pesadas em balança de precisão para determinar a matéria seca expressa em g planta⁻¹.

- Teor de nitrogênio nas folhas (N)

Foi realizada a avaliação do teor de nitrogênio das folhas conforme metodologia descrita por Malavolta *et al.* (1997), o método Kjeldahl. Utilizando 0,2 gramas da amostra, digerindo com ácido sulfúrico e sulfato de cobre, até a ocorrência da transformação do nitrogênio orgânico em amônio. Após a digestão, a mistura foi neutralizada em solução alcalina de hidróxido de sódio e o nitrogênio foi destilado e capturado em solução de ácido bórico. A titulação do ácido permitiu quantificar o teor de nitrogênio nas folhas.

Equação 1 - Equação para determinação de nitrogênio nas folhas

$$N\% = (V \times Fc \times N \times 14 \times 100) \div \text{Peso da amostra (g)}$$

Em que:

V: volume do ácido gasto na titulação (mL);

Fc: Fator de correção do ácido;

N: normalidade do ácido.

- Teor de proteína nas folhas

A partir dos dados obtidos do teor de nitrogênio nas folhas, multiplicou-se pelo fator de conversão do nitrogênio em proteínas em 6,25, conforme metodologia de Krul (2019), considerando que as proteínas contêm aproximadamente 16% de nitrogênio.

- Produtividade da água de irrigação

A produtividade da água de irrigação (*PAir*) foi determinada pela razão entre a produção de cada planta (g planta^{-1}) e o volume de água aplicado por vaso ($\text{m}^3 \text{vaso}^{-1}$) em cada tratamento ao final do ciclo, conforme a Equação 2, adaptada de Fernandez et al. (2020):

$$PAir = Y \div ITN$$

onde:

PAir = Produtividade da água de irrigação (g m^{-3});

Y = Produção da cultura (g vaso^{-1});

ITN = Volume de água aplicado na irrigação ($\text{m}^3 \text{vaso}^{-1}$).

- Unidade formadora de colônia (UFC)

A UFC, seguiu o modelo de Madigan *et al.* (2004), realizando a quantificação de microrganismos viáveis em uma amostra, neste caso, no solo. Para realizar a análise, o solo foi suspenso em solução salina (0,60% NaCl) e diluído em série em diferentes concentrações, facilitando a contagem das colônias. As amostras diluídas foram aplicadas em placas de Petri com meio de cultura estéril, utilizando-se uma pipeta de 0,1 mL. Após incubação a uma temperatura 25°C por um período de 24 e 48 horas, as colônias formadas foram contadas. A fórmula utilizada para calcular a concentração de microrganismos está apresentada na Equação 3.

Equação 3 - Fórmula para calcular unidade formadora de colônias.

UFC/mL = Número de colônias na placa x Fator de diluição / volume do inóculo

3.8 Análise estatística

Os dados foram avaliados quanto à normalidade pelo teste de Anderson-Darling e quanto à homocedasticidade pelo teste de Levene. Posteriormente, prosseguiu com a análise de variância, com nível de significância de 5% de probabilidade de erro. As médias foram submetidas ao teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro através do software AgroEstat, as equações de regressão foram realizadas pelo software R e os gráficos foram desenvolvidos com o auxílio do SigmaPlot 14.1.

4 RESULTADOS

Os fatores doses de bioinsumo e irrigação influenciaram características da planta do feijoeiro, conforme apresentado na Tabela 4, para valores de p-valor.

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⁻¹), massa da matéria seca da raiz (MSR – g), teor de proteína nas folhas (PB - %), teor de nitrogênio nas folhas (N - %), produtividade da água de irrigação (*PAir* - g m⁻³) e unidade formadora de colônias (UFC mL⁻¹).

	AP	AIPV	NVP	NGV	NGP	P
Doses	< 0,0001**	< 0,0001**	< 0,0001**	< 0,0001**	< 0,0001**	< 0,0001**
Irrigação	< 0,0001**	< 0,0001**	< 0,0001**	0,0002**	< 0,0001**	< 0,0001**
Doses x Irrigação	< 0,0001**	< 0,0001**	0,0118*	0,0051**	< 0,0001**	< 0,0001**
CV (%)	3,95	5,69	7,40	7,57	8,43	9,67

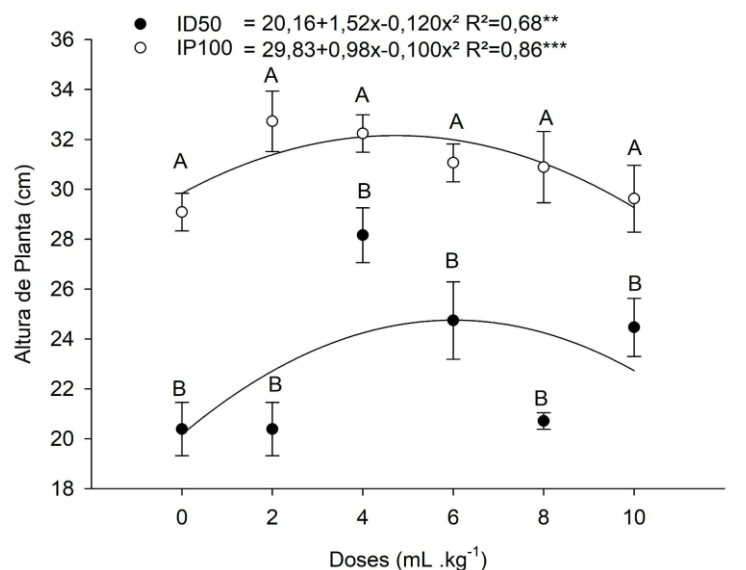
	MSR	PB	N	<i>PAir</i>	UFC
Doses	< 0,0001**	< 0,0001**	< 0,0001**	< 0,0001**	0,0008**
Irrigação	< 0,0001**	< 0,0001**	< 0,0001**	< 0,0001**	< 0,0001**
Doses x Irrigação	< 0,0001**	< 0,0170*	0,0001**	< 0,0001**	0,0405*
CV (%)	3,71	6,12	5,50	5,50	4,12

**significativo a 1% de probabilidade pelo Teste F, * significativo a 5%.

Houve interação entre a aplicação de bioinsumo e os diferentes regimes de irrigação ($p < 0,05$) para a variável altura de plantas (Tabela 6). A altura de planta foi afetada significativamente pela irrigação deficitária, independente da dose inoculada nas sementes. Com a irrigação plena (100% da ETc), a maior altura obtida foi de 32,28 cm, e a dose que promoveu este benefício foi de 4,9 mL do produto por kg semente⁻¹, representando um aumento de aproximadamente 19% quando comparado às

plantas submetidas a irrigação deficitária (50% da ETc) que alcançaram seu máximo de 26,15 cm na dose de 6,33 mL por kg semente⁻¹ (Figura 3).

Figura 3 - Altura das plantas para os tratamentos nas diferentes doses de bioinsumo sob os regimes hídricos irrigação



ID50: Irrigação deficitária de 50% da ETc. IP100: Irrigação plena de 100% da ETc

significativo a 1% de probabilidade pelo Teste F, * significativo a 0,1%.

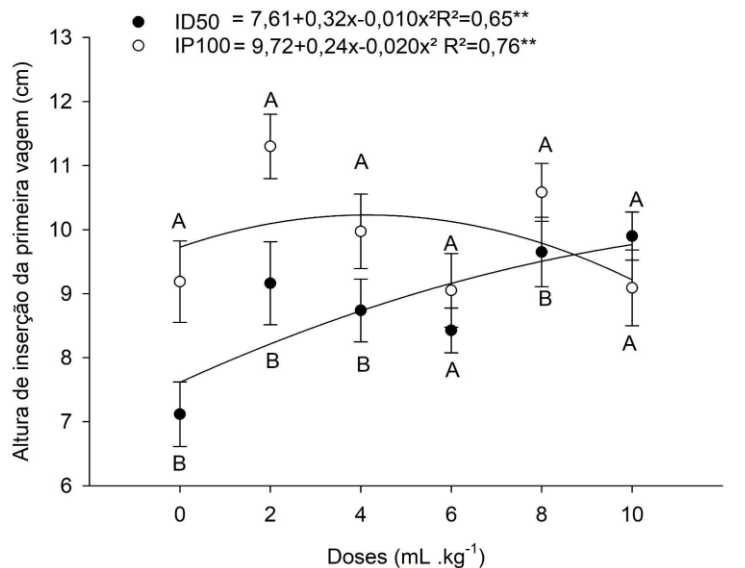
Letras diferentes nas doses de *B. aryabhattai* indicam diferenças significativas entre as lâminas de irrigação de 50 e 100% da ETc a 5% de probabilidade.

Para a variável de altura de inserção de primeira vagem, houve interação significativa entre a dose de bioinsumo e a lâmina de irrigação ($p < 0,05$), conforme a Tabela 6.

Sob irrigação deficitária, plantas com doses de 6 mL e 10 mL se comportaram semelhantes às plantas que receberam irrigação plena. Para a irrigação plena, com fornecimento de 100% da ETc, a dose que melhor respondeu na altura de inserção da primeira vagem foi de 6 mL, obtendo uma altura de 10,44 cm, no entanto, doses acima desta proporcionou queda na altura de inserção da primeira vagem (Figura 4).

Cabe ressaltar que a análise das funções quadráticas (Figura 4) revela que a altura máxima de inserção da primeira vagem está associada a doses de 10 mL (10,17 cm) e 2 mL (11,3 cm) de bioinsumo, para os regimes hídricos de 50% e 100% da ETc, respectivamente.

Figura 4 - Altura de inserção da primeira vagem (cm) para os tratamentos nas diferentes doses de bioinsumo sob os regimes hídricos irrigação



ID50: Irrigação deficitária de 50% da ETc. IP100: Irrigação plena de 100% da ETc

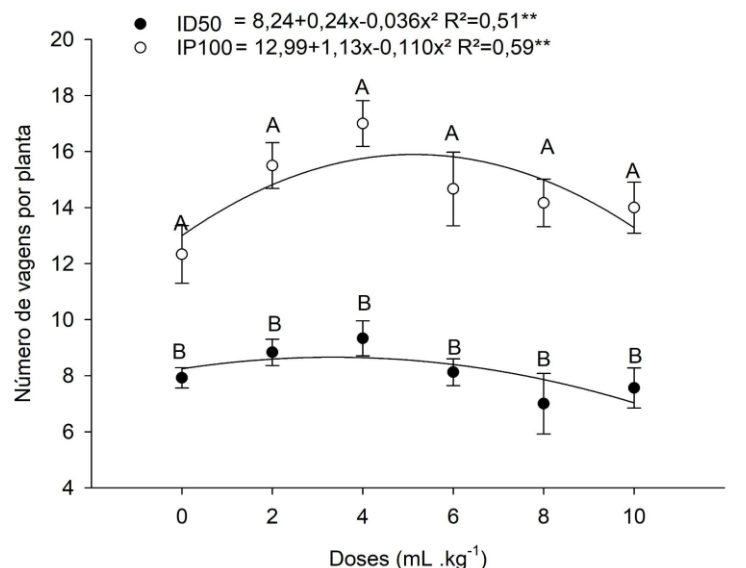
**significativo a 1% de probabilidade pelo Teste F.

Letras diferentes nas doses de *B. aryabhattai* indicam diferenças significativas entre as lâminas de irrigação de 50 e 100% da ETc a 5% de probabilidade.

O número de vagens por planta também apresentou interação significativa entre os fatores estudados ($p < 0,05$). A disponibilidade hídrica estabeleceu a formação de vagens independente da dose de inoculante utilizada, a irrigação deficitária (50% da ETc) reduziu em média 45,43% o número de vagens por planta.

A dose ótima para obter o maior número de vagens por planta na irrigação plena foi de 5,14 mL (15,89 vagem planta⁻¹); e a irrigação deficitária foi de 3,33 mL (8,67 vagem planta⁻¹), conforme os cálculos da curva da regressão. Dessa maneira, as plantas submetidas à irrigação plena obtiveram maior número de vagens que as plantas submetidas ao déficit hídrico.

Figura 5 - Número de vagens por planta para os tratamentos nas diferentes doses de bioinsumo sob os regimes hídricos irrigação



ID50: Irrigação deficitária de 50% da ETc. IP100: Irrigação plena de 100% da ETc.

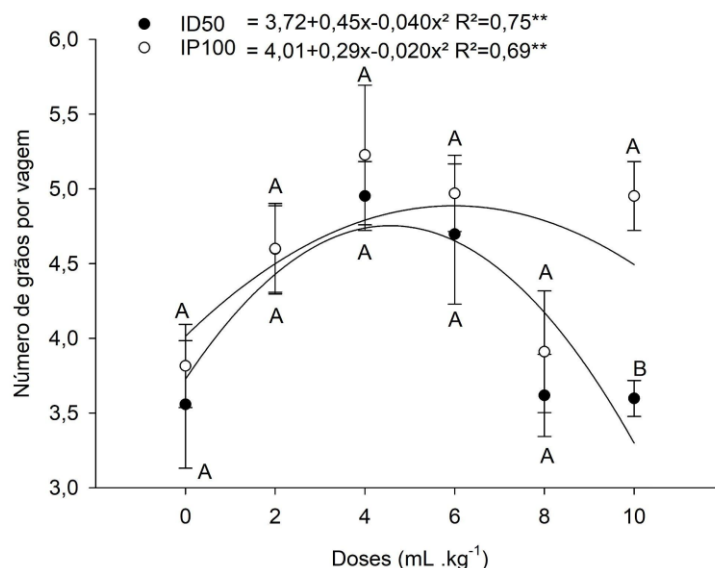
******significativo a 1% de probabilidade pelo Teste F.

Letras diferentes nas doses de *B. aryabhattai* indicam diferenças significativas entre as lâminas de irrigação de 50 e 100% da ETc a 5% de probabilidade.

De acordo com a Tabela 6, houve interação entre as doses de bioinsumos e os dois níveis de irrigação ($p < 0,05$), para a produção de grãos. Com a irrigação plena, os resultados mostram que a inoculação com dose de 4 mL incrementou 37%, quando comparada às plantas sem inoculação. No entanto, observando o comportamento da função, o maior potencial de produção de grãos por vagem foi observado com aproximadamente 7,25 mL por kg de semente⁻¹.

Na irrigação deficitária (50% da ETc), o comportamento das plantas se destacaram na dose de 4 mL por kg de semente⁻¹, com incremento de aproximadamente 40% a mais no número de grãos por vagem, comparada às plantas sem inoculação. Para este regime, o ponto máximo para a variável número de grãos por vagem foi de 5,62 mL por kg⁻¹ de semente, se assemelhando às condições de irrigação plena (100% da ETc) (Figura 6).

Figura 6 - Número de grãos por vagem para os tratamentos nas diferentes doses de bioinsumo sob os regimes hídricos irrigação



ID50: Irrigação deficitária de 50% da ETc. IP100: Irrigação plena de 100% da ETc.

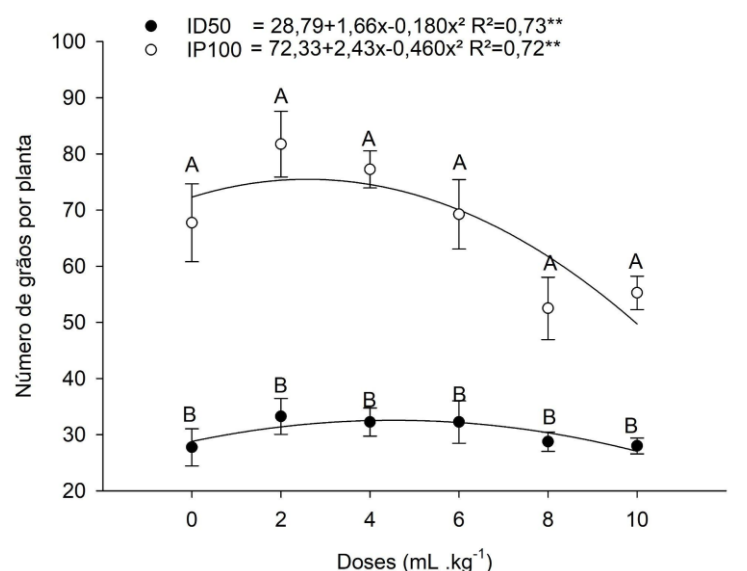
**significativo a 1% de probabilidade pelo Teste F.

Letras diferentes nas doses de *B. aryabhattai* indicam diferenças significativas entre as lâminas de irrigação de 50 e 100% da ETc a 5% de probabilidade.

Os resultados encontrados para o número de grãos por planta apresentaram interação significativa entre os fatores estudados, com $p < 0,05$ (Tabela 6). O feijoeiro, submetido à irrigação plena (100% da ETc), apresentou maior quantidade de grãos. As plantas submetidas ao déficit hídrico produziram 45% menos grãos por planta quando comparados com a irrigação plena. No entanto, a inoculação de 2 mL propôs um incremento de aproximadamente 20% a mais no número de grãos do que plantas sem inoculação.

As doses de *B. aryabhattai* nas plantas irrigadas em 100% da ETc, se expressaram de maneiras diferentes, obtendo resultados mais promissores na dose de 2 mL kg⁻¹ de semente. Contudo, com o aumento da dose, ocorreu declínio no desempenho, indicando que doses elevadas resultam na redução no número de grãos por planta. Ao comparar as doses de 2 mL (maior resposta) e 8 mL, verificou-se redução de 35,77% no número de grãos por planta. O máximo rendimento de grãos por planta é obtido na dose de 4,61 mL (32,62 grãos por planta) e 2,64 mL (75,54 grãos por planta) nos regimes hídricos de 50 e 100% da ETc, respectivamente (Figura 7).

Figura 7 - Número de grãos por planta para os tratamentos nas diferentes doses de bioinsumo sob os regimes hídricos irrigação



ID50: Irrigação deficitária de 50% da ETc. IP100: Irrigação plena de 100% da ETc.

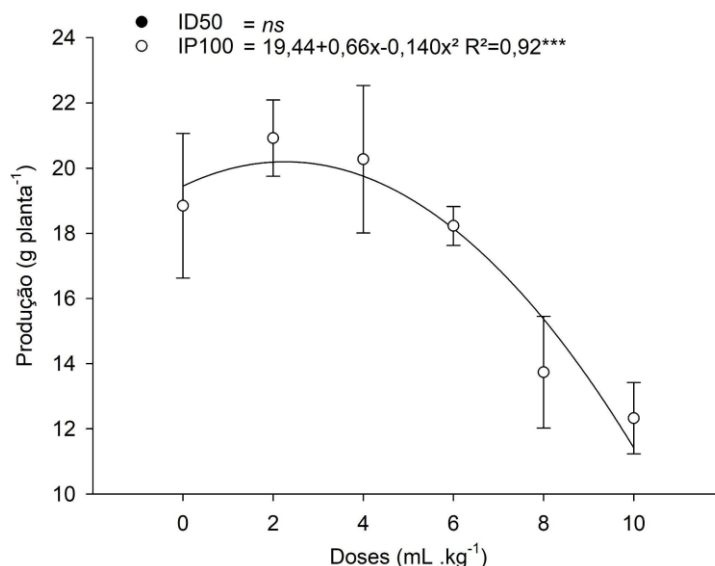
******significativo a 1% de probabilidade pelo Teste F.

Letras diferentes nas doses de *B. aryabhattai* indicam diferenças significativas entre as lâminas de irrigação de 50 e 100% da ETc a 5% de probabilidade.

A produção de grãos por planta (g planta⁻¹) apresentou interação significativa entre os fatores, com $p < 0,05$, conforme a Tabela 6. A massa de grãos produzida por plantas de feijoeiro respondeu de acordo com a disponibilidade hídrica, em que plantas irrigadas com 100% da ETc, produziram aproximadamente 60% a mais que plantas submetidas ao déficit hídrico (Figura 8).

No regime hídrico de 100% da ETc, a dose de 2 mL por kg de semente⁻¹, incrementou ganhos de 11% na produção de grãos por planta (g planta⁻¹). No entanto, foi verificado que doses elevadas de bioinsumo com *B. aryabhattai* reduziram a produção do feijoeiro. A inoculação na dose de 10 mL (kg semente⁻¹) comparada com as plantas sem inoculação reduziram em 35% a produção. A dose ótima encontrada no regime de 100% da ETc foi de 2,36 mL (20,28 gramas planta⁻¹). E sob condições de déficit hídrico (50% da ETc) as doses de *B. aryabhattai* não surtiram efeitos na produção (g planta⁻¹).

Figura 8 - Produção de grãos (g planta⁻¹) para os tratamentos nas diferentes doses de bioinsumo sob os regimes hídricos irrigação



ID50: Irrigação deficitária de 50% da ETc. IP100: Irrigação plena de 100% da ETc.

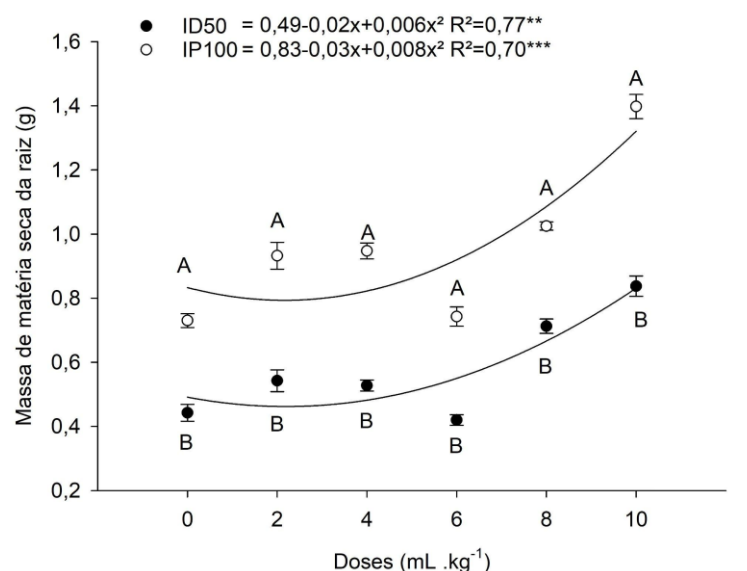
***significativo a 0,1% de probabilidade pelo Teste F, ns não significativo.

Letras diferentes nas doses de *B. aryabhattai* indicam diferenças significativas entre as lâminas de irrigação de 50 e 100% da ETc a 5% de probabilidade.

A massa de matéria seca da raiz apresentou interação entre as doses de bioinsumos e os níveis de irrigação (Tabela 6). O efeito do *B. aryabhattai*, refletiu em maior peso no decorrer do aumento das doses para ambos os regimes hídricos. Observando a massa da matéria seca da raiz das plantas sob o déficit hídrico (50% da ETc), a menor massa fresca obtida foi de 0,44g com a dose de 1,67 mL kg semente⁻¹, essas que obtiveram redução de 43,5% na massa quando comparado às plantas com irrigação plena de 100% da ETc.

Por outro lado, a irrigação plena promoveu o maior desenvolvimento das raízes, obtendo menor massa de 0,784g na dose de 1,85 mL kg semente⁻¹. Os maiores ganhos de massa de matéria seca da raiz em ambos regimes hídricos, foram obtidos com dose de 10 mL kg semente⁻¹ resultando em 0,96 g sob déficit hídrico e 1,52 g sob irrigação plena.

Figura 9 - Massa de matéria seca da raiz (g) para os tratamentos nas diferentes doses de bioinsumo sob os regimes hídricos irrigação



ID50: Irrigação deficitária de 50% da ETc. IP100: Irrigação plena de 100% da ETc.

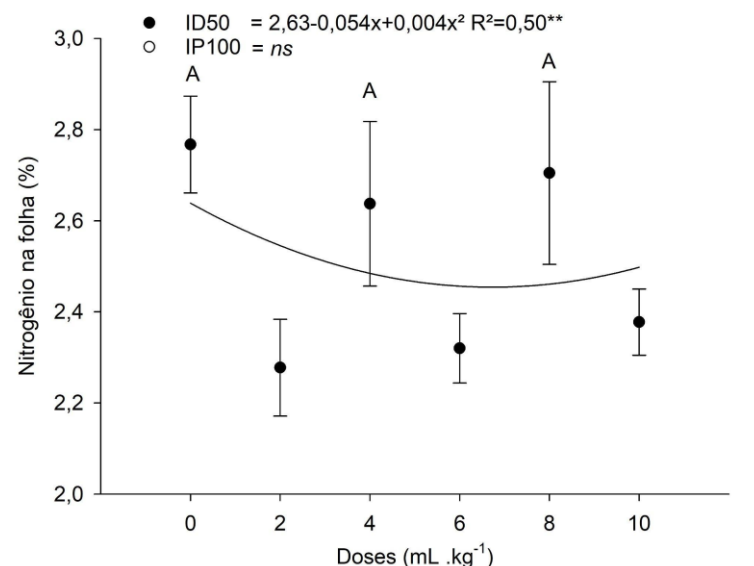
significativo a 1% de probabilidade pelo Teste F, * significativo a 0,1%.

Letras diferentes nas doses de *B. aryabhatai* indicam diferenças significativas entre as lâminas de irrigação de 50 e 100% da ETc a 5% de probabilidade.

Os resultados obtidos para o teor de nitrogênio nas folhas (Figura 10) apresentou significância entre as doses de inoculante e os regimes hídricos, com $p < 0,05$, conforme a Tabela 6. As doses de 6 mL e 8 mL, independente do regime hídrico, apresentaram semelhanças no teor de nitrogênio nas folhas. Em plantas sob irrigação deficitária, o efeito do aumento das doses de inoculante ocasionou na diminuição dos teores de nitrogênio nas folhas.

Os dados deixam claro que plantas sob estresse hídrico não responderam bem com altas doses de *B. aryabhatai*, porém os maiores acúmulos de nitrogênio nas folhas ocorreram nas plantas sob déficit hídrico, representando 25,5% mais nitrogênio nas folhas do que as plantas sob irrigação plena (100% da ETc). No entanto, as plantas submetidas ao regime hídrico de 100% da ETc, as diferentes doses não apresentaram efeitos.

Figura 10 - Teor de nitrogênio nas folhas para os tratamentos nas diferentes doses de bioinsumo sob os regimes hídricos irrigação



ID50: Irrigação deficitária de 50% da ETc. IP100: Irrigação plena de 100% da ETc.

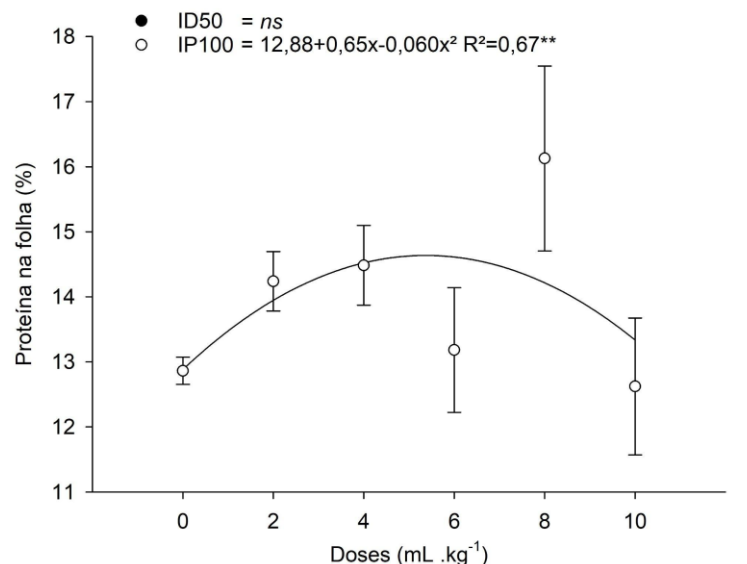
**significativo a 1% de probabilidade pelo Teste F, ns: não significativo.

Letras diferentes nas doses de *B. aryabhattai* indicam diferenças significativas entre as lâminas de irrigação de 50 e 100% da ETc a 5% de probabilidade.

O teor de proteína nas folhas apresentou interação entre as doses de bioinsumos e os regimes hídricos (Tabela 6). Os resultados indicam que houve concentrações para cada regime hídrico. Nas plantas submetidas a irrigação deficitária apresentaram 10,75% mais nitrogênio em suas folhas do que as plantas com irrigação plena, no entanto não houve diferença significativa das doses dentro do regime de restrição hídrica.

O efeito da inoculação com *B. aryabhattai* na irrigação plena apresentou semelhanças estatísticas nas doses de 2 mL e 8mL. No entanto, conforme o ajuste da regressão a dose de 5,42 mL por kg semente⁻¹ na irrigação plena, apresentou o melhor resultado (14,64%), conforme Figura 10. Doses superiores a 5,42 mL reduziram o teor de proteínas, indicando que a aplicação em excesso pode ser prejudicial.

Figura 11 - Teor de proteína nas folhas para os tratamentos nas diferentes doses de bioinsumo sob os regimes hídricos irrigação



ID50: Irrigação deficitária de 50% da ETc. IP100: Irrigação plena de 100% da ETc.

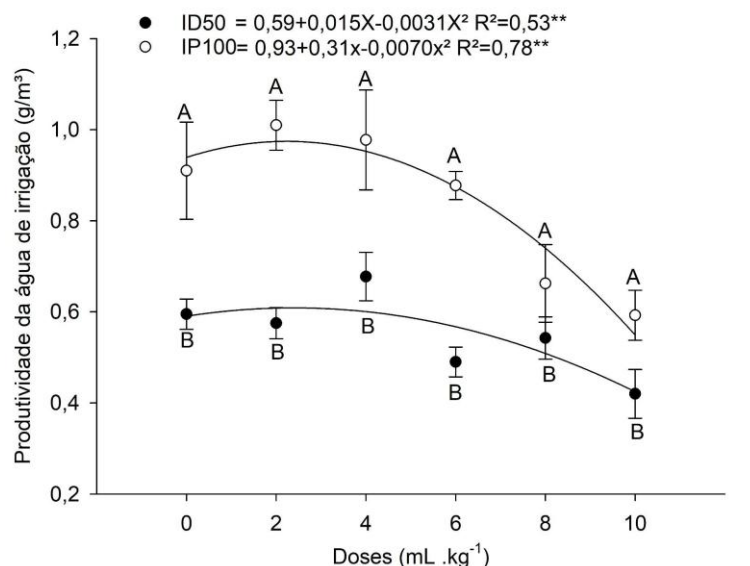
**significativo a 1% de probabilidade pelo Teste F, ns: não significativo.

Letras diferentes nas doses de *B. aryabhattai* indicam diferenças significativas entre as lâminas de irrigação de 50 e 100% da ETc a 5% de probabilidade.

A produtividade de água de irrigação (*Pair*) revelou interação significativa entre as doses de bioinsumos e os regimes hídricos (Tabela 6). As plantas submetidas à irrigação plena apresentaram uma eficiência de 34,93% a mais no uso da água de irrigação quando comparada às plantas sob irrigação deficitária. Os ganhos obtidos com a irrigação de 100% da ETc, mostraram que a dose de 2 mL kg sementes⁻¹ resultou em 11% nos incrementos quando comparado às testemunhas (sem inoculação).

Por meio do ajuste da equação a dose ideal foi de 2,21 mL por kg semente⁻¹ com 100% da ETc, após esta dose ocorreu a redução dos resultados. Em contrapartida, na irrigação deficitária a produtividade da água atingiu seu ponto máximo na dose de 2,42 mL kg de semente⁻¹. Para as plantas sob o estresse hídrico, a melhor resposta foi observada com a dose de 4 mL, com incremento de 14% comparada ao tratamento sem inoculação. Com o aumento das doses do bioinsumo, foi observado perdas na produtividade de água de irrigação de 29,32% na dose de 10 mL quando comparado com a dose de 4 mL por kg sementes⁻¹, sob o regime hídrico de 50% da ETc (Figura 12).

Figura 12 - Produtividade da água de irrigação para os tratamentos nas diferentes doses de bioinsumo sob os regimes hídricos irrigação



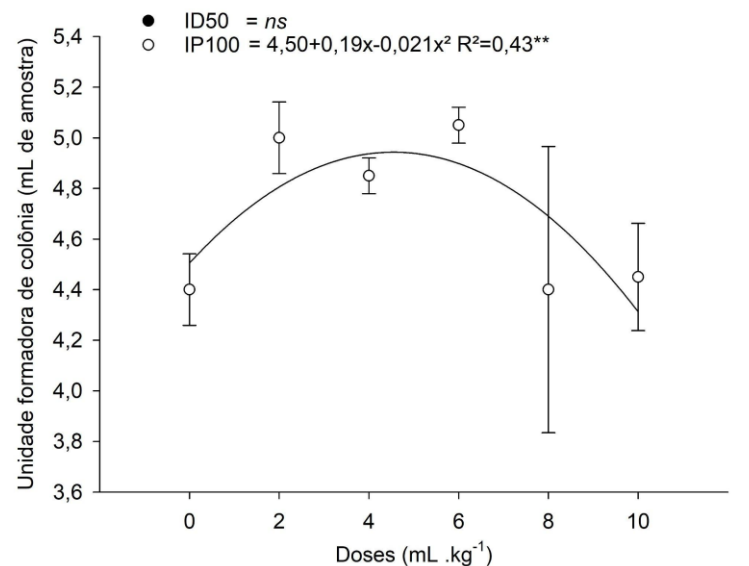
ID50: Irrigação deficitária de 50% da ETc. IP100: Irrigação plena de 100% da ETc.

^{**}significativo a 1% de probabilidade pelo Teste F.

Letras diferentes nas doses de *B. aryabhatai* indicam diferenças significativas entre as lâminas de irrigação de 50 e 100% da ETc a 5% de probabilidade.

A unidade formadora de colônia (UFC) apresentou interação significativa entre as doses de bioinsumos e os regimes hídricos (Tabela 6). A irrigação deficitária não apresentou diferenças entre as doses inoculadas, no entanto, a UFC no solo foi afetada com a restrição hídrica reduzindo em 44% na UFC quando comparado com a irrigação plena que forneceu para o solo as maiores concentrações para a unidade formadora de colônia, conforme o ponto máximo da função de 4,52 mL kg de semente⁻¹, contribuindo com aproximadamente 14% a mais no número de UFC (Figura 13).

Figura 13 - Unidade formadora de colônia para os tratamentos nas diferentes doses de bioinsumo sob os regimes hídricos irrigação



ID50: Irrigação deficitária de 50% da ETc. IP100: Irrigação plena de 100% da ETc.

**significativo a 1% de probabilidade pelo Teste F, ns: não significativo.

Letras diferentes nas doses de *B. aryabhattai* indicam diferenças significativas entre as lâminas de irrigação de 50 e 100% da ETc a 5% de probabilidade.

5 DISCUSSÃO

Embora o feijoeiro comum tenha enorme importância econômica e social no país, o estudo desta cultura com o uso de produtos biológicos que atenuam o déficit hídrico é escasso, ainda mais quando se busca a dose ideal de um bioinsumo para diferentes regimes hídricos. Os dados deste trabalho mostram o efeito das diferentes doses de *B. aryabhattai* sob os regimes hídricos de 50% e 100% da ETc, em que é possível obter incrementos na cultura do feijoeiro comum com a inoculação de microrganismos promotores de crescimento de plantas. Conforme demonstrado as plantas submetidas à irrigação plena apresentaram resultados superiores em algumas variáveis avaliadas, deixando claro o efeito da inoculação com na irrigação plena e a importância da disponibilidade hídrica para a cultura. No entanto, a inoculação com *B. aryabhattai* contribui para a tolerância das plantas ao déficit hídrico.

Os valores encontrados nesta pesquisa para as variáveis altura das plantas e altura de inserção da primeira vagem (Figura 3 e 4) mostraram que a inoculação obteve efeitos nas diferentes doses de bioinsumos aplicadas em ambos os regimes hídricos. Os ganhos obtidos nessas variáveis demonstram que a inoculação na presença da irrigação plena (100% da ETc) é crucial para o máximo desenvolvimento das plantas nas condições deste experimento. Dessa maneira é provável que a atuação do *Bacillus aryabhattai* seja mais eficaz na presença da irrigação plena com menores doses, conforme Junior *et al.* (2024) que estudaram os efeitos da inoculação de *B. aryabhattai* na cultura da soja, obtendo como melhor dose para a variável altura das plantas na quantidade de 3 mL kg⁻¹ de semente.

O aumento da altura das plantas conferido pela bactéria no feijão pode estar relacionado ao fato do *B. aryabhattai* promover o acúmulo de alguns hormônios, como o ácido indolacético (AIA), giberelina, ácido abscísico, além de atuar como solubilizador de fosfato. Esses hormônios desempenham papéis cruciais no alongamento celular, no crescimento das plantas e na adaptação ao estresse abiótico. Park *et al.* (2017) destacam que esses mecanismos contribuem significativamente para melhorar o desempenho das plantas, especialmente em condições adversas.

A irrigação deficitária causou alterações morfológicas e fisiológicas no comportamento das plantas, sendo a redução do porte da planta uma das principais alterações constatadas. Apesar disso, mesmo com uma pequena resposta, às doses de *B. aryabhattai* surtiram efeito nas plantas. Isso mostra que apesar da limitação

hídrica, a presença da bactéria pode proporcionar alterações nas plantas graças ao seu potencial de formação de biofilme na rizosfera, que auxilia as plantas a suportar as condições de estresses abióticos, assim promovendo maior resiliência e adaptabilidade. Esses ganhos foram constatados por May *et al.* (2019), que independente do manejo da irrigação na cana-de-açúcar, a presença de *B. aryabhatai*, resultou em plantas mais altas.

No contexto do presente estudo, esse potencial de resiliência também refletiu na altura de inserção da primeira vagem, uma característica importante, pois mantém as vagens distantes do solo, evitando doenças e perdas na produção, além de facilitar a colheita mecanizada. Plantas submetidas ao déficit hídrico e inoculadas com dose de 10 mL kg⁻¹ de semente, apresentaram alturas semelhantes a plantas com irrigação plena, com média de 10,44 cm. Altura esta que é considerada baixa por Silva *et al.* (2020), onde cita que a altura média de segurança deve ser superior a 12 cm, para não prejudicar as operações de colheita mecanizada. No entanto, não se sabe ao certo se altas doses são viáveis, considerando o aumento no custo de produção e a interação desta bactéria no solo.

Os resultados encontrados nesta pesquisa são diferentes dos observados por Grigolo *et al.* (2018) em que para a cv. BRS Estilo, encontraram média de 15,33 cm para altura de inserção da primeira vagem. A diferença encontrada nesta pesquisa pode estar relacionada com o cultivo em vaso, em que a planta possui menor quantidade de solo a explorar. E de outro modo, o déficit hídrico causa uma falha de funções essenciais para a síntese de fitormônios e sideróforos, fixação biológica de nitrogênio e solubilização de nutrientes que impactam diretamente no desenvolvimento das plantas (Vurukonda *et al.*, 2016).

Apesar do *B. aryabhatai* proporcionar melhorias em alguns parâmetros, para o número de vagens por planta, grãos por vagem e grãos por planta as altas dosagens do bioinsumo causaram efeitos negativos (Figura 5, 6, 7). Essa redução pode ser atribuída a uma possível fitotoxicidade do bioinsumo em concentrações elevadas, conforme relatado por Silva *et al.* (2020). No entanto, doses entre 2 e 4 mL kg⁻¹ proporcionaram os melhores resultados, indicando que a inoculação deve ser manejada com cautela, para maximizar seus benefícios.

Em relação ao número de vagens por planta, a disponibilidade hídrica impactou diretamente, em que as plantas sob irrigação plena produziram 45,43% mais vagens do que as plantas sob irrigação deficitária. Isso corrobora com o estudo de Tatagiba

et al. (2024), onde a limitação hídrica reduziu a formação de vagens devido ao fechamento estomático e a redução da fotossíntese. Esse comportamento foi semelhante ao observado no número de grãos por planta, que também apresentou os melhores resultados sob irrigação plena. Esses resultados confirmam a importância do manejo de irrigação adequado para o desenvolvimento reprodutivo das plantas, como relatado por Silva (2024).

Por outro lado, o número de grãos por vagem mostrou menor sensibilidade ao regime hídrico, sendo significativamente influenciado apenas em condição de déficit hídrico, com destaque para a dose de 4 mL kg^{-1} de sementes, onde a interação do *B. aryabhattai* com a rizosfera demonstrou ser eficaz em mitigar o impacto do déficit hídrico. Isso pode ter ocorrido pelo fato da bactéria promover a formação de biofilme, que protege as raízes contra a desidratação e ajuda na produção de enzimas antioxidantes (Melo, 2022).

Os resultados indicam que o aumento das doses de inoculação promoveu incrementos na massa da matéria seca das raízes, independente do regime hídrico. As plantas submetidas à irrigação plena apresentaram os maiores valores de massa da matéria seca da raiz. Este efeito pode estar atribuído com a interação benéfica da bactéria com a rizosfera próxima às raízes, com a formação de biofilme que promove o desenvolvimento radicular, aumento dos pelos absorventes e aumento na formação das raízes secundárias, já que a principal interação desta bactéria ocorre nas raízes.

O aumento das doses da inoculação intensificou a atuação do *B. aryabhattai*, resultando possivelmente no acréscimo da produção de auxinas essas que promoveram o desenvolvimento radicular, que consequentemente incrementou a massa da matéria seca da raiz. Deng (2022), em sua pesquisa confirma que o *Bacillus aryabhattai* foi capaz de produzir ácido indolacético (AIA), contribuindo para um sistema radicular mais robusto e eficiente na absorção de nutrientes e água, resultando em um crescimento de 197% no volume total da raiz e de 25% na espessura da raiz principal na cultura do milho.

É essencial garantir um manejo adequado para evitar impactos significativos na produção final da cultura. Os parâmetros de rendimento mencionados anteriormente influenciaram diretamente na produtividade, onde a interação do manejo com a bactéria proporcionou diferentes resultados nesta pesquisa (Figuras 8 e 12). A análise da produção em conjunto com a produtividade da água de irrigação é

essencial para obter a relação entre os dados de rendimento das plantas com o volume de água aplicado, de forma sustentável e eficiente.

A relação entre produtividade e eficiência do uso da água foi destacada por estudos como os de Fulaneti (2022) e Moraes (2018), que demonstraram ganhos significativos em culturas como a soja com o uso de *B. aryabhatai*, atribuídos à produção de fitohormônios como ácido 3-indolacético (AIA), giberelinas e ácido abscísico, solubilização de fósforo e formação de biofilmes nas raízes. Nesta pesquisa, doses de 2 a 4 mL kg⁻¹ de semente do bioinsumo responderam de forma satisfatória sob condições de irrigação plena (100% da ETc), promovendo um melhor desempenho da produção, garantindo o equilíbrio entre o fornecimento de nutrientes e a eficiência no uso da água.

No entanto, a irrigação deficitária influenciou expressivamente a estrutura e o rendimento das plantas. É provável que a redução da lâmina de irrigação em 50% da ETc causou danos fisiológicos e morfológicos no feijoeiro, refletindo na redução do porte das plantas, no fechamento estomático, na diminuição da capacidade fotossintética, na formação e no acúmulo das espécies reativas de oxigênio singlete, assim interferindo na produção final da planta. Isso permaneceu até mesmo com a inoculação das diferentes doses do *B. aryabhatai* evidenciando que o estresse hídrico limita significativamente a produção (Taiz *et al.*, 2017). Esse resultado está alinhado com os dados de Silva *et al.* (2020), que constataram reduções na produção de vagens e grãos em feijoeiros sob déficit hídrico, e Silva (2024), que observou uma queda de até 48% na produtividade sob restrição hídrica de 50% da ETc, mesmo com a inoculação.

Sob déficit hídrico, as plantas exibiram maior acúmulo de proteínas em suas folhas (Figura 11). Esse aumento na concentração de proteínas está relacionado ao menor desenvolvimento da biomassa, uma vez que plantas submetidas ao déficit hídrico apresentaram redução em seu tamanho, resultando em maior teor de proteína bruta nas folhas conforme evidenciado também por Jesus Santos *et al.* (2024). O mesmo padrão foi observado para o acúmulo de nitrogênio nas folhas, com plantas sob irrigação deficitária apresentando os maiores teores de N, conforme Figura 11. No entanto, resultados divergentes foram encontrados na cultura da soja por Santos (2024), que avaliou o efeito da inoculação e coinoculação de bactérias. Na soja, a inoculação com *B. aryabhatai* em condições de irrigação de 70% e 100% da ETc

promoveu maiores teores de N na parte aérea, superando o tratamento controle com irrigação plena sem inoculação.

O resultado desta pesquisa pode ser explicado pelo fato do déficit hídrico ter reduzido o crescimento das plantas, o que leva a uma maior concentração de nutrientes nas folhas, devido a menor produção de biomassa (Taiz *et al.*, 2017). Nesse sentido, Hu *et al.* (2022) destaca que as plantas sob condições de deficiência hídrica priorizam a síntese de composto relacionados a mecanismos de defesa, que aumentam a expressão de enzimas relacionadas ao metabolismo do nitrogênio, o que consequentemente aumentam a presença de aminoácidos e proteínas de estresse. Essa adaptação fisiológica confirma o aumento da concentração de nitrogênio e proteína nas folhas como uma resposta à escassez hídrica, promovendo maior resiliência da planta em condições adversas.

A variável formadora de colônia (UFC) nas condições desta pesquisa, variaram de acordo com as lâminas de água aplicada e doses inoculadas. No caso da irrigação plena, os ganhos observados eram esperados, pois conforme Saad; Hirt Eida; Hirt (2020), um ambiente mais úmido favorece o desenvolvimento e as interações entre os microrganismos e plantas. A umidade no solo, ao manter os níveis adequados de irrigação, facilita a mobilidade dos microrganismos e contribui para o melhor desenvolvimento das raízes, além de melhorar a estrutura das comunidades bacterianas (Kasper *et al.*, 2019).

Quando é imposta irrigação deficitária, há um aumento na temperatura do solo, o que pode causar alterações na microbiota do solo, criando condições menos favoráveis para a atividade microbiana. Segundo Mendes; Taketani; Taketani (2017), a diminuição da umidade do solo altera a composição das comunidades microbianas, reduz a atividade de microrganismos benéficos para as plantas, como aqueles que auxiliam na ciclagem de nutrientes. O estresse hídrico pode desencadear um estresse térmico no solo que prejudica as interações microbianas essenciais para o desenvolvimento vegetal.

Como ocorrido em parâmetros anteriores, altas doses de *Bacillus aryabhattai* resultaram em resultados inferiores, inclusive na contagem de Unidades Formadoras de Colônia (UFC). Isso ocorre porque o *B. aryabhattai* pode competir com microrganismos nativos do solo por nutrientes e espaço, pode estimular a proliferação de espécies específicas, enquanto que seus metabólitos secundários podem inibir o crescimento de outros microrganismos, estes metabólitos que em excesso pode

alterar o pH do solo e criar condições desfavoráveis para outros organismos, de modo que esta competição pode comprometer a produção das plantas. Resultados semelhantes foram vistos por Deng *et al.* (2022) que, avaliou o solo e o comportamento do *B. aryabhattai* da cepa LAD de na comunidade microbiana da rizosfera do milho, obtendo uma redução na riqueza total de rizobactérias do solo na presença de *B. aryabhattai*.

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/j/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.