

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS – FCA
DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA**

ANA CAROLINA PICININI PETRONILIO

**QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE FEIJÃO EM FUNÇÃO
DO USO DE BIOINSUMOS E ESTRESSE HÍDRICO**

BOTUCATU

2026

ANA CAROLINA PICININI PETRONILIO

**QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE FEIJÃO EM FUNÇÃO
DO USO DE BIOINSUMOS E ESTRESSE HÍDRICO**

Relatório de Pós-doutorado realizado na
Universidade Estadual Paulista “Júlio de
Mesquita Filho” (UNESP), Faculdade de
Ciências Agrônômicas, Departamento de
Produção Vegetal, Câmpus de Botucatu.

Supervisor: Prof. Dr. Fernando Ferrari Putti

CNPq - Processo N ° 382578/2024-4

BOTUCATU

2026

QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE FEIJÃO EM FUNÇÃO DO USO DE BIOINSUMOS E ESTRESSE HÍDRICO

RESUMO: O déficit hídrico é um dos principais fatores limitantes da produção de feijão, podendo comprometer tanto a produtividade quanto a qualidade fisiológica das sementes. Nesse contexto, o uso de microrganismos promotores de crescimento vegetal surge como uma alternativa para mitigar os efeitos do estresse hídrico. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da inoculação de *Priestia aryabhattai*, isoladamente ou em associação com *Rhizobium tropici*, sobre a produtividade e a qualidade fisiológica de sementes de feijão produzidas sob diferentes regimes hídricos. O experimento foi conduzido em campo, em delineamento fatorial 5×5 , composto por cinco manejos de irrigação e cinco tratamentos microbiológicos. Foram avaliados componentes de produção, produtividade, germinação, primeira contagem de germinação, tempo para 50% da germinação (T50), índice de uniformidade, envelhecimento acelerado e condutividade elétrica. A inoculação com *P. aryabhattai* apresentou desempenho superior em alguns atributos relacionados ao vigor, especialmente sob déficit hídrico nas fases reprodutiva e de enchimento de grãos, além de proporcionar a maior produtividade média de grãos. A germinação permaneceu elevada em todos os tratamentos, enquanto variáveis como primeira contagem de germinação, envelhecimento acelerado e condutividade elétrica mostraram maior sensibilidade para detectar os efeitos dos manejos avaliados. Observou-se ainda que a resposta da qualidade fisiológica das sementes aos tratamentos microbiológicos depende do estágio fenológico em que ocorre a restrição hídrica, evidenciando a interação entre os fatores avaliados. Conclui-se que a inoculação com *P. aryabhattai* possui potencial para mitigar os efeitos do estresse hídrico durante a produção de sementes de feijão, contribuindo para a manutenção do vigor das sementes e para o aumento da produtividade da cultura.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L.; bioinsumos; *Priestia aryabhattai*; vigor de sementes; déficit hídrico; produtividade.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem-se observado com maior frequência a ocorrência de épocas de seca em diferentes regiões do planeta, ocasionadas em grande parte pelos efeitos das mudanças climáticas, que alteram o ciclo hidrogeológico como um todo (GITZ et al., 2016). Tais períodos de estiagem afetam negativamente a produtividade das culturas e a qualidade fisiológica das sementes produzidas. O pleno desenvolvimento vegetal das plantas depende do adequado suprimento de água durante os diferentes estádios fenológicos, em especial na germinação e etapas produtivas dos cultivos (FRAIRE-VELAZQUEZ; BALDERAS-HERNÁNDEZ, 2013). A qualidade fisiológica das sementes, por sua vez, é importante para assegurar o desenvolvimento do stand inicial de plantas de maneira rápida e uniforme mesmo quando expostas à condições climáticas desfavoráveis ao seu desenvolvimento (TEKRONY et al., 1991). A qualidade fisiológica também pode trazer incrementos à produtividade das culturas (BAGATELI et al., 2019; DIAZ et al., 1998; GRAVEN; CARTER, 1991; RAJALA et al., 2011).

A cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma das principais espécies afetadas pelo déficit hídrico, pois apresenta ciclo curto, sistema radicular pouco profundo e por ser menos eficiente no uso da água em comparação com o milho (que também é opção de cultivo na entressafra) (SMITH et al., 2019). Sendo afetada quando cultivada em sequeiro e na safra de inverno, na qual depende totalmente do regime pluviométrico e da água armazenada no solo, sendo que o déficit hídrico pode reduzir o seu potencial produtivo em até 80% (JUSTINO et al., 2019) e a qualidade fisiológica das sementes (TEIXEIRA et al., 2016; PÁDUA et al., 2009).

Sob déficit hídrico as plantas desenvolvem uma ampla gama de mecanismos adaptativos para se sobressair às condições adversas, incluindo o ajuste no crescimento e desenvolvimento (OSAKABE et al., 2014). Ademais, o fechamento estomático, a redução da transpiração e da área foliar, a celeridade da senescência e a abscisão de folhas são respostas ao déficit hídrico (KHATUN et al., 2021).

A redução da disponibilidade hídrica leva ao fechamento estomático, diminuindo a entrada de CO₂ e, conseqüentemente, a taxa fotossintética. Como resultado, ocorre aumento da fotorrespiração e da respiração celular, favorecendo a produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), como o peróxido de hidrogênio (H₂O₂). Embora as EROs

atuem como moléculas sinalizadoras em condições normais, seu acúmulo excessivo pode provocar danos ao aparato fotossintético, às proteínas, aos ácidos nucleicos e às membranas celulares (OSAKABE et al., 2014; NUNES JUNIOR et al., 2017). Apesar da existência de mecanismos antioxidantes capazes de atenuar esses efeitos (BOARETTO et al., 2014), estresses hídricos severos podem reduzir a produtividade e a qualidade fisiológica das sementes em razão da menor assimilação de fotoassimilados, do comprometimento do acúmulo de reservas e da ocorrência de abscisão ou morte prematura das plantas (CLERKX et al., 2003; PÁDUA et al., 2007).

Sabe-se que o feijoeiro tem grande importância na dieta da população humana por seu alto valor proteico, dessa forma, a busca por meios de minimizar os impactos do déficit hídrico na sua produção é de fundamental importância, pois desta forma, maximiza o fornecimento deste alimento à população, evitando que haja riscos de segurança alimentar e otimiza seu cultivo em épocas de menor precipitação (REICHERT et al., 2015).

Uma das estratégias utilizada por muitos anos em áreas com déficit hídrico é a implantação de sistemas de irrigação. Entretanto, tais sistemas exigem alto investimento inicial para instalação dos equipamentos e disponibilidade de água de qualidade. Portanto, em geral, os sistemas de irrigação são de menor acessibilidade para agricultores de pequenas e médias propriedades, sendo estes responsáveis por maior parte da produção de feijão em países tropicais (POLANIA et al., 2016).

Assim, ainda se faz necessário buscar alternativas viáveis e sustentáveis que auxiliem na mitigação das perdas em produtividade e qualidade da semente causadas pelo déficit hídrico no feijoeiro. Recentemente, a agricultura moderna tem buscado por tecnologias consideradas “*eco-friendly*”, as quais aumentam a produtividade sem prejuízos para o meio ambiente (SURENDRAN; SANDEEP; JOSEPH, 2016). Uma destas tecnologias é o uso consorciado de rizobactérias, aplicados na forma de bioinsumos, já que tais bactérias são capazes de estimular o crescimento de raízes e, dessa forma, ampliar a capacidade da planta de explorar o volume de solo, acessar a água armazenada no solo e assim tolerar períodos de escassez hídrica (BUITRAGO et al., 2021).

Contudo, ainda são escassas pesquisas com essas bactérias na cultura do feijão. Estudos prévios mostram que algumas bactérias do gênero *Priestia* têm potencial de

amenizar os danos provocados por períodos de seca a diversas culturas, como o milho (DENG et al., 2022; MORENO-GALVAN et al., 2020), gramínea forrageira (MENDOZA-LABRADOR et al., 2021) e soja (PARK et al., 2017).

Apesar de serem verificados os efeitos positivos de *Priestia* e de alguns consórcios de bactérias sobre diferentes cultivos em condições de déficit hídrico, pouco se conhece sobre suas implicações na qualidade fisiológica das sementes. Considerando que o entendimento de tais mecanismos pode facilitar a maximização dos mesmos, é de fundamental importância identificá-los para que seu uso seja direcionado e cada vez mais eficiente.

Diante do aumento constante da demanda por alimentos e os problemas relacionados à falta de água ocorridos devido à alta intensidade da utilização de água na irrigação, houve a motivação por parte da equipe deste projeto a buscar soluções para reduzir tais impactos. Diante do contexto apresentado, esta pesquisa procura responder as seguintes questões: Os efeitos do déficit hídrico na cultura do feijoeiro são amenizados pelo uso de bactérias do gênero *Priestia* de forma isolada ou associada com *Rhizobium tropici*? Qual o comportamento da produção e qualidade das sementes de feijoeiro quando inoculado com *Priestia aryabhattai* com diferentes lâminas de irrigação?

2. OBJETIVOS

O presente estudo teve como objetivo verificar se a inoculação de *Priestia aryabhattai*, isoladamente ou em associação com *Rhizobium tropici*, em plantas de feijoeiro cultivadas sob condições de irrigação subótima em diferentes fases fenológicas, promove melhorias na qualidade fisiológica e na produtividade das sementes produzidas.

Os objetivos específicos foram:

- 1) Avaliar os componentes de produção e a produtividade do feijoeiro sob diferentes regimes hídricos e condições de inoculação;
- 2) Determinar a qualidade fisiológica das sementes produzidas por meio de testes de germinação, vigor e desempenho fisiológico.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização

O experimento foi conduzido em campo na área experimental da Fazenda Lageado, na Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, localizada no município de Botucatu (SP), com latitude 22°49'S, longitude 48°25' W e altitude de 786 m. O clima da região, segundo classificação de Köppen, é do tipo CWa, que significa clima mesotérmico com inverno seco. O experimento foi conduzido em Latossolo Vermelho distroférico, com textura franco argiloso arenosa, com as características químicas e granulométricas apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização química e granulométrica do solo do experimento, na profundidade de 0,00-0,20 m.

pH _{CaCl2}	MO	P	S	Ca	Mg	K	H+Al	Al	Silte	Argila	Areia
	g dm ⁻³	mg dm ⁻³		mmol _c dm ⁻³					g kg ⁻¹		
4,86	23,4	68,3	9,0	29,5	17,3	1,6	25,0	3,5	141	326	533

3.2 Condução do experimento e delineamento experimental

O experimento foi conduzido na safra de inverno, em 2024. Foi escolhida a safra de inverno para o cultivo do feijoeiro porque neste período a precipitação é quase ausente na região que do experimento, justificando assim os tratamentos com déficit hídrico; e porque as safras de feijão conduzidas no inverno só são viáveis nas condições tropicais brasileiras sob irrigação, desta forma, possibilita visualizar os efeitos dos bioinsumos na superação do estresse hídrico.

O experimento foi conduzido sob delineamento experimental em faixas, em esquema fatorial 5x5, com quatro repetições, sendo cinco manejos de irrigação e cinco manejos de presença ou ausência de bioinsumos. Cada unidade experimental teve cinco metros de largura e oito metros de comprimento (40 m²), sendo a área útil de cada parcela constituída por setes linhas centrais, descartando um metro em cada extremidade (comprimento).

O manejo da irrigação foi constituído por: (I) Irrigação plena, que consistiu na aplicação de 100% das necessidades hídricas da cultura durante todo seu ciclo; (II) irrigação com déficit contínuo com o fornecimento de 50% das necessidades hídricas da

cultura durante todo seu ciclo; (III) irrigação com déficit regular com o fornecimento de 50% das necessidades hídricas da cultura durante as fases de crescimento vegetativo, (IV) irrigação com déficit com fornecimento de 50% das necessidades hídricas na fase de florescimento e na formação do grão e (V) Irrigação com déficit na fase de enchimento de grão com fornecimento de apenas 50% das necessidades hídricas nesta fase. A irrigação foi realizada por meio de gotejamento.

O fator bioinsumos foi constituído pelos seguintes tratamentos: (I) inoculação com *P. aryabhatai*; (II) inoculação com *P. aryabhatai* + *R. tropici*. (III) inoculação com *R. tropici*, (IV) controle positivo, em que foi adicionado nitrogênio mineral (via aplicação de ureia - 45% de N, na dose recomendada a partir da análise do solo e (V) controle negativo, em que não foi aplicado nitrogênio mineral e inoculante. Os bioinsumos foram aplicados no tratamento das sementes nas doses recomendadas pelos fabricantes. Em relação ao *B. aryabhatai*, foi utilizada a cepa CNA 1363, na concentração de 1×10^8 unidades formadoras de colônia (UFC) por mL do produto comercial; para o *Rhizobium tropici*, foi utilizada as cepas 4077 e 4088 na concentração de 3×10^9 UFC por mL do produto.

A semeadura do feijão, cultivar BRS Estilo, foi mecanizada, ocorreu em 14/06/2024, utilizando espaçamento de 0,45 m entrelinhas, com densidade de 300 mil plantas ha⁻¹. As sementes foram tratadas com piraclostrobina, tiofanato metílico e fipronil, nas doses de 5, 45 e 50 g do ingrediente ativo (i.a.) por hectare, respectivamente.

As irrigações foram realizadas diariamente, de acordo com o tratamento, e tendo como base a evaporação de um Tanque Classe A, instalado próximo à área do experimento. A determinação da evapotranspiração de referência (ET_o) foi efetuada pelo produto da evaporação do tanque (ECA) pelo coeficiente do tanque (K_p) conforme Allen et al. (1998). A evapotranspiração da cultura (ET_c) foi obtida pelo produto do valor da ET_o com o coeficiente da cultura (K_c).

A adubação de semeadura foi realizada com 40 kg ha⁻¹ de N (exceto no tratamento que não recebeu adubação nitrogenada), 140 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 50 kg ha⁻¹ de K₂O. Em cobertura foi aplicado 120 kg ha⁻¹ de N e 100 kg ha⁻¹ de K₂O, dividido em duas aplicações, sendo a primeira em V4 (terceira folha trifoliolada formada) e a segunda no estágio R5 (pré-florescimento ou início da fase reprodutiva) (WUTKE, 2022). A fonte de N, P₂O₅ e K₂O utilizadas foram ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente.

Cabe ressaltar que não foi realizada adubação nitrogenada em cobertura no tratamento controle negativo.

3.3 Variáveis analisadas

3.3.1 Componentes de produção e produtividade

A produtividade e o número de vagens por planta foram avaliados por meio da colheita das plantas na área útil da parcela. Após a contagem do número de vagens por planta, as vagens foram debulhadas e os grãos foram pesados. O valor da massa das sementes foi corrigido para 13% de umidade e o resultado extrapolado para kg ha⁻¹.

3.3.2 Germinação

Foi realizado de acordo com Regra de Análise de Sementes (BRASIL, 2009), com 50 sementes e quatro repetições por tratamento. O teste foi realizado em rolo de papel umedecido com água destilada na proporção de 2,5 vezes o seu peso seco. Os rolos de papel contendo as sementes foram acondicionados em sacos plásticos e mantido em posição vertical em germinador com temperatura constante de 25 °C. A avaliação foi realizada ao quinto dia (primeira contagem de (germinação) e ao oitavo dia após a instalação do teste (contagem final), no qual foi considerado o número de plântulas normais obtidas para o cálculo da porcentagem de germinação.

3.3.3 Germinação - Protrusão radicular

Foram germinadas 25 sementes em placas de Petri, em quatro repetições, utilizando papel toalha umedecido com água deionizada 2,5 vezes a massa do papel seco. As placas foram mantidas no escuro a 25±0,5°C. As sementes germinadas (raiz primária ≥ 2 mm) foram contabilizadas a cada seis horas até o 8º dia após a semeadura. A germinação cumulativa foi utilizada para calcular o tempo para de 50% da germinação segundo Joosen et al. (2011).

3.3.4 Envelhecimento acelerado

Foi realizado com quatro subamostras de 50 sementes por tratamento, estas foram distribuídas em camada única sobre tela de inox, fixadas no interior de caixas plásticas

tipo gerbox (11,0 cm x 11,0 cm x 3,0 cm), contendo 40 mL de água destilada no fundo. As caixas foram tampadas e mantidas à temperatura de 42°C, por 72 horas, em câmara de germinação tipo BOD. Após este período, as sementes foram submetidas ao teste de germinação (BRASIL, 2009), com avaliação do percentual de plântulas normais no terceiro e quinto dia após a instalação do teste.

3.3.5 Emergência em canteiro

Foram semeadas quatro repetições de 50 sementes, distribuídas em canteiros contendo areia de 10x1,0m, com espaçamento de 20 cm entre repetições. As irrigações foram feitas sempre que necessário, visando o fornecimento de água para a germinação das sementes e emergência das plântulas. As plântulas emergidas foram contadas diariamente no mesmo horário até que o número de plântulas emergidas se estabilizasse (KRZYZANOWSKI et al., 2020). A partir dos dados de emergência foi calculado o índice de uniformidade, expresso pela soma da porcentagem de plântulas que emergiram no dia do pico de emergência mais o dia anterior e posterior ao pico de emergência, conforme Ebone et al. (2020).

3.4 Análise estatística

Foi verificado a normalidade e homoscedasticidade dos dados para aplicação da ANOVA. Aqueles que atenderam aos pressupostos ou passaram por normalização foram submetidos à ANOVA no esquema fatorial 5x5 e à comparação de médias pelo teste de Scott Knott ($p \leq 0,05$). Ademais, para os dados que não apresentaram distribuição normal ou homogeneidade das variâncias foi aplicado o modelo linear generalizado (GLM).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados foram primeiramente submetidos ao teste de Levene e Shapiro Wilk para a verificação dos pressupostos da ANOVA, homoscedasticidade e normalidade, respectivamente ($p \leq 0,05$). Os dados que atenderam aos pressupostos, foram submetidos a análise de variância em delineamento em blocos casualizados no esquema fatorial 5x5 e as médias foram comparadas pelo teste de Scott Knott ($p \leq 0,05$). Para a variável índice

de uniformidade (%), os dados foram transformados por arco seno da raiz ($\text{asin}\sqrt{x/100}$) para atender aos pressupostos de normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias, verificados pelos testes de Shapiro-Wilk ($p = 0,1424$) e Levene ($p = 0,1674$). As variáveis condutividade elétrica, NVP e produtividade foram analisadas por modelo linear generalizado (GLM) com distribuição Gamma e ligação log. O ajuste do modelo foi considerado adequado, com baixo parâmetro de dispersão ($\phi = 0,0055$) e redução substancial da *deviance* em relação ao modelo nulo.

Houve interação significativa entre os fatores microrganismo e manejo hídrico para a primeira contagem de germinação (Tabela 2). Em condição de irrigação plena, não foram observadas diferenças entre os tratamentos, cujos valores variaram entre 68 e 83%. Sob déficit hídrico na fase vegetativa, os valores oscilaram entre 61 e 79%, com destaque para os menores resultados observados em *R. tropici*. Na fase reprodutiva, verificaram-se diferenças entre os tratamentos, com valores variando de 60 a 90%. Nessa condição, *P. aryabhattai* e o controle negativo apresentaram os maiores valores, enquanto *R. tropici* e o tratamento controle positivo apresentaram as menores médias.

Quando a restrição hídrica foi aplicada durante o enchimento de grãos, a PCG variou de 52 a 96%, sendo observados os menores valores no controle positivo e os maiores em *P. aryabhattai*. Já sob déficit hídrico durante todo o ciclo, os valores variaram de 51 a 89%, com maiores médias observadas na coinoculação, em *R. tropici* e no controle negativo, enquanto *P. aryabhattai* e o controle positivo apresentaram os menores resultados.

Tabela 2. Primeira contagem de germinação (PCG) de sementes de feijão submetidas a diferentes microrganismos e manejos de irrigação. Médias seguidas por letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Manejo	<i>Priestia aryabhatai</i>	<i>P. aryabhatai</i> + <i>R. tropici</i>	<i>Rhizobium tropici</i>	Controle negativo	Controle positivo
100% da necessidade hídrica	83,00 aB	71,00 aB	68,00 aB	75,00 aB	81,00 aA
50% vegetativo	79,00 aA	69,00 aC	61,00 aB	70,00 aB	75,00 aA
50% reprodutivo	90,00 aA	78,00 aB	65,00 bB	83,00 aA	60,00 bB
50% enchimento de grãos	96,00 aA	79,00 bA	72,00 bB	83,00 bA	52,00 cB
50% durante todo o ciclo	60,00 bC	88,00 aA	88,00 aA	89,00 aA	51,00 bB

Foi observada interação significativa entre microrganismos e manejo hídrico para a germinação das sementes (Tabela 3). Em irrigação plena e sob déficit hídrico na fase vegetativa, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos, com germinação variando de 81 a 99%. Sob déficit hídrico na fase reprodutiva, os valores variaram entre 83 e 97%, sendo a menor média observada na coinoculação (*P. aryabhatai* + *R. tropici*). Durante o enchimento de grãos, a germinação oscilou entre 82 e 99%, com os menores valores registrados na coinoculação e no tratamento controle positivo. Quando a restrição hídrica ocorreu durante todo o ciclo, os valores variaram de 84 a 97%. Nessa condição, *R. tropici* apresentou a maior média, enquanto o tratamento controle positivo apresentou o menor valor. Os demais tratamentos apresentaram desempenho intermediário. De maneira geral, a germinação manteve-se elevada em

todos os manejos avaliados, apresentando valores superiores a 80% independentemente do tratamento utilizado.

Tabela 3. Germinação (G%) de sementes de feijão submetidas a diferentes microrganismos e manejos de irrigação. Médias seguidas por letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Manejo	<i>Priestia aryabhattai</i>	<i>P. aryabhattai</i> + <i>R. tropici</i>	<i>Rhizobium tropici</i>	Controle negativo	NPK positivo
100% da necessidade hídrica	93,00 aA	81,00 bB	88,00 bA	99,00 aA	94,00 aA
50% vegetativo	85,00 aA	93,00 aA	91,00 aA	94,00 aA	89,00 aA
50% reprodutivo	94,00 aA	83,00 bB	87,00 bA	97,00 aA	93,00 aA
50% enchimento de grãos	99,00 aA	82,00 bB	91,00 aA	97,00 aA	82,00 bB
50% durante todo o ciclo	91,00 aA	89,00 aA	97,00 aA	90,00 aA	84,00 aB

Verificou-se interação significativa entre os fatores para a variável T50 (Tabela 4). Em irrigação plena, os valores variaram de 38,62 a 50,66 horas, sendo observados os menores valores na coinoculação e no tratamento controle positivo. Sob déficit hídrico na fase vegetativa, os valores oscilaram entre 38,19 e 46,71 horas. Na fase reprodutiva, o T50 variou de 39,26 a 45,82 horas, sendo observados os menores valores no controle positivo e os maiores na coinoculação. No manejo com déficit hídrico durante todo o ciclo, foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos, com valores variando de 42,36 a 46,31 horas. Os menores valores foram observados no controle positivo, *R. tropici* e na coinoculação, enquanto *P. aryabhattai* e o controle negativo apresentaram os maiores valores.

Tabela 4. T50 de sementes de feijão submetidas a diferentes microrganismos e manejos de irrigação. Médias seguidas por letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Manejo	<i>Priestia aryabhatai</i>	<i>P. aryabhatai</i> + <i>R. tropici</i>	<i>Rhizobium tropici</i>	Controle negativo	Controle positivo
100% da necessidade hídrica	44,47 bA	38,62 cC	47,93 aA	50,66 aA	39,22 cA
50% vegetativo	46,22 aA	40,20 bB	46,71 aA	38,19 bB	42,88 aA
50% reprodutivo	43,68 aA	45,82 aB	44,36 aB	41,63 bB	39,26 bA
50% enchimento de grãos	42,95 bA	49,72 aA	42,00 bB	44,26 bB	41,09 bA
50% durante todo o ciclo	46,31 aA	44,68 aB	43,25 aB	42,36 aB	44,30 aA

Não foi observada interação significativa entre os fatores para o índice de uniformidade (Tabela 5). Também não foram verificadas diferenças entre microrganismos dentro de cada manejo hídrico ou entre manejos dentro de cada tratamento microbiológico. Os valores permaneceram estatisticamente semelhantes em todas as combinações avaliadas, variando entre 1,25 e 1,50.

Tabela 5. Índice de uniformidade (ARC) de sementes de feijão submetidas a diferentes microrganismos e manejos de irrigação. Médias seguidas por letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Manejo	<i>P.</i> <i>aryabhattai</i>	<i>P. aryabhattai</i> + <i>R. tropici</i>	<i>Rhizobium</i> <i>tropici</i>	Controle negativo	Controle positivo
100% da necessidade hídrica	1,44 aA	1,34 aA	1,43 aA	1,47 aA	1,36 aA
50% vegetativo	1,45 aA	1,45 aA	1,31 aA	1,32 aA	1,32 aA
50% reprodutivo	1,45 aA	1,46 aA	1,44 aA	1,25 aA	1,44 aA
50% enchimento de grãos	1,31 aA	1,50 aA	1,45 aA	1,38 aA	1,40 aA
50% durante todo o ciclo	1,40 aA	1,38 aA	1,44 aA	1,38 aA	1,31 aA

Foi observada interação significativa entre os fatores para porcentagem de germinação avaliadas avaliada no terceiro dia após o envelhecimento acelerado (Tabela 6). Em condição de irrigação plena, os tratamentos não diferiram entre si, apresentando valores entre 90 e 96%. Sob déficit hídrico na fase vegetativa, os valores variaram de 79 a 95%, com menores médias observadas para *P. aryabhattai* e para o controle negativo. Na fase reprodutiva, os resultados oscilaram entre 73 e 91%, sendo o menor valor observado na coinoculação. Quando o déficit hídrico foi aplicado durante o enchimento de grãos, a germinação variou de 83 a 93%, enquanto no déficit durante todo o ciclo variou entre 85 e 94%. Em ambas as condições, a coinoculação apresentou as menores médias entre os tratamentos avaliados.

Tabela 6. Envelhecimento acelerado avaliado aos 3 dias (EA3) de sementes de feijão submetidas a diferentes microrganismos e manejos de irrigação. Médias seguidas por letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Manejo	<i>Priestia aryabhatai</i>	<i>P. aryabhatai</i> + <i>R. tropici</i>	<i>Rhizobium tropici</i>	Controle negativo	Controle positivo
100% da necessidade hídrica	90,00 aA	96,00 aA	93,00 aA	93,00 aA	93,00 aA
50% vegetativo	79,00 bA	95,00 aA	85,00 bA	79,00 bA	91,00 aA
50% reprodutivo	83,00 aA	73,00 bB	84,00 aA	91,00 aA	89,00 aA
50% enchimento de grãos	86,00 aA	83,00 aB	85,00 aA	91,00 aA	93,00 aA
50% durante todo o ciclo	91,00 aA	85,00 aB	87,00 aA	85,00 aA	94,00 aA

Também foi observada interação significativa entre microrganismos e manejo hídrico para o envelhecimento acelerado aos cinco dias (Tabela 7). Em irrigação plena e sob déficit hídrico na fase vegetativa, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos, cujos valores variaram entre 89 e 99%. Sob déficit hídrico na fase reprodutiva, os resultados oscilaram entre 85 e 97%, sendo a menor média observada na coinoculação. Durante o enchimento de grãos, os valores variaram de 88 a 98%, com menores médias observadas na coinoculação e em *R. tropici*. Quando a restrição hídrica ocorreu durante todo o ciclo, os valores variaram entre 84 e 99%. Nessa condição, a coinoculação apresentou a menor média de germinação, enquanto os demais tratamentos apresentaram resultados intermediários que não diferiram estatisticamente.

Tabela 7. Envelhecimento acelerado avaliado aos 5 dias (EA5) de sementes de feijão submetidas a diferentes microrganismos e manejos de irrigação. Médias seguidas por letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Manejo	<i>Priestia aryabhattai</i>	<i>P. aryabhattai</i> + <i>R. tropici</i>	<i>Rhizobium tropici</i>	Controle negativo	Controle positivo
100% da necessidade hídrica	96,00 aA	96,00 aA	92,00 aA	93,00 aA	93,00 aA
50% vegetativo	89,00 aA	99,00 aA	95,00 aA	93,00 aA	97,00 aA
50% reprodutivo	89,00 aA	85,00 aB	88,00 aA	97,00 aA	91,00 aA
50% enchimento de grãos	97,00 aA	88,00 bB	88,00 bA	94,00 aA	98,00 aA
50% durante todo o ciclo	92,00 aA	84,00 bB	85,00 bA	95,00 aA	99,00 aA

Para a condutividade elétrica das sementes, a análise de *deviance* indicou efeito significativo dos fatores microrganismo ($p < 0,0001$), regime hídrico ($p = 0,0004$) e da interação entre esses fatores ($p = 0,0020$) para a condutividade elétrica das sementes (Tabela 8). Em razão da significância da interação, os efeitos dos microrganismos foram avaliados dentro de cada regime hídrico e, reciprocamente, os efeitos dos regimes hídricos foram avaliados dentro de cada microrganismo.

Tabela 8. Análise de deviance (Type II) para condutividade elétrica das sementes em função dos fatores microrganismo, regime hídrico e sua interação. LR Chisq = estatística qui-quadrado da razão de verossimilhança; GL = graus de liberdade; p = probabilidade associada ao teste.

Fonte	GL	LR Chisq	p
Microrganismo	4	37.613	1,346E-07
Irrigação	4	20.764	0.000353
Repetição	3	3.421	0.3312
Microrganismo × Irrigação	16	37.201	0.0020

Sob irrigação correspondente a 100% da necessidade hídrica, o tratamento com *P. aryabhattai* apresentou maior condutividade elétrica das sementes, diferindo do controle positivo, enquanto os demais tratamentos apresentaram valores intermediários. Quando o déficit hídrico foi aplicado durante o período vegetativo, observou-se maior condutividade elétrica em *P. aryabhattai* em comparação ao tratamento com *P. aryabhattai* + *R. tropici*, não havendo diferenças entre os demais tratamentos. No déficit aplicado durante o período reprodutivo e durante todo o ciclo, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos. Já sob déficit hídrico durante o enchimento de grãos, *P. aryabhattai* apresentou maior condutividade elétrica, diferindo dos tratamentos com *P. aryabhattai* + *R. tropici*, *R. tropici* e do controle positivo, enquanto o controle negativo apresentou valor intermediário (Tabela 9).

Tabela 9. Médias ajustadas de condutividade elétrica das sementes para a interação entre tratamentos microbiológicos e regimes hídricos, estimadas por modelo linear generalizado (GLM) com distribuição Gamma e função de ligação log. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Manejo	<i>Priestia aryabhatai</i>	<i>P. aryabhatai</i> + <i>R. tropici</i>	<i>R. tropici</i>	Controle negativo	Controle positivo
100% da necessidade hídrica	106,23 bA	95,68 abA	100,01 abA	95,70 abA	89,45 aAB
50% vegetativo	97,57 bA	83,52 aB	94,32 abAB	89,22 abA	96,78 abB
50% reprodutivo	94,43 aA	94,73 aAB	83,67 aBC	92,61 aA	82,89 aA
50% enchimento de grãos	103,82 bA	86,59 aB	79,73 aC	92,14 abA	80,72 aA
50% durante todo o ciclo	94,80 aA	89,84 aB	86,47 aBC	93,50 aA	86,56 aA

Para o NVP, a análise de *deviance* revelou efeito significativo dos fatores microrganismo ($p = 0,0006$) e regime hídrico ($p < 0,0001$), bem como da interação entre esses fatores ($p = 0,0310$) para o número de vagens por planta (Tabela 10). Em razão da significância da interação, os efeitos dos microrganismos foram avaliados dentro de cada regime hídrico e os efeitos dos regimes hídricos foram avaliados dentro de cada microrganismo.

Tabela 10. Análise de *deviance* (Type II) para número de vagens por planta (NVP) em função dos fatores microrganismo, regime hídrico e sua interação. LR Chisq = estatística qui-quadrado da razão de verossimilhança; GL = graus de liberdade; p = probabilidade associada ao teste.

Fonte	GL	LR Chisq	p
Microrganismo	4	19.704	0.000571
Irrigação	4	146.538	<0.0001
Repetição	3	4.026	0.2587
Microrganismo × Irrigação	16	28.076	0.0310

Sob irrigação correspondente a 100% da necessidade hídrica, o tratamento controle positivo apresentou o maior número de vagens por planta (24,13), diferindo dos tratamentos com *Rhizobium tropici* e do controle negativo. Os tratamentos com *Priestia aryabhattai* e *P. aryabhattai* + *R. tropici* apresentaram valores intermediários, não diferindo do controle positivo. Nos regimes com déficit hídrico aplicado durante os períodos vegetativo, reprodutivo e de enchimento de grãos, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos. Entretanto, quando o déficit hídrico foi mantido durante todo o ciclo, o tratamento com *P. aryabhattai* + *R. tropici* apresentou o menor número de vagens por planta, diferindo dos tratamentos com *Priestia aryabhattai* e *R. tropici*, enquanto o controle negativo e o controle positivo apresentaram valores intermediários (Tabela 11).

Tabela 11. Médias ajustadas do número de vagens por planta (NVP) para a interação entre tratamentos microbiológicos e regimes hídricos, estimadas por modelo linear generalizado (GLM) com distribuição Gamma e função de ligação log. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Manejo	<i>Priestia aryabhattai</i>	<i>P. aryabhattai</i> + <i>R. tropici</i>	<i>Rhizobium tropici</i>	Controle negativo	Controle positivo
100% da necessidade hídrica	19,16 abA	18,42 abC	14,86 Ba	15,14 Bc	24,13 aC
50% vegetativo	12,93 aA	12,73 aBC	15,20 aA	12,32 aBC	13,48 aB
50% reprodutivo	12,08 aA	11,82 aB	14,90 aA	12,55 aBC	13,73 aB
50% enchimento de grãos	13,99 aA	10,35 aAB	13,34 aA	10,43 aAB	11,70 aAB
50% durante todo o ciclo	10,49 aA	7,23 bA	10,80 aA	8,03 abA	8,82 abA

A produtividade de grãos foi influenciada significativamente pelos fatores microrganismo ($p < 0,0001$) e regime hídrico ($p < 0,0001$), não sendo observada interação significativa entre esses fatores ($p = 0,4969$) (Tabela 12). Dessa forma, os efeitos dos tratamentos microbiológicos e dos regimes hídricos foram interpretados independentemente.

Tabela 12. Análise de *deviance* (Type II) para produtividade de grãos em função dos fatores microrganismo, regime hídrico e sua interação. LR Chisq = estatística qui-quadrado da razão de verossimilhança; GL = graus de liberdade; p = probabilidade associada ao teste.

Fonte	GL	LR Chisq	p
Microrganismo	4	56.392	<0.0001
Irrigação	4	104.356	<0.0001
Repetição	3	9.154	0.0273
Microrganismo × Irrigação	16	15.382	0.4969

Entre os tratamentos microbiológicos, a inoculação com *P. aryabhattai* associada à adubação mineral proporcionou a maior produtividade média (2.649,48 kg ha⁻¹), superando tanto o controle negativo (1544,40 kg ha⁻¹) quanto o tratamento com NPK (1.848,58 kg ha⁻¹), utilizado como controle positivo e referência do manejo convencional da cultura (Tabela 4). Os tratamentos *P. aryabhattai* + *R. tropici* e *R. tropici* apresentaram produtividades intermediárias, não diferindo do controle positivo. Esses resultados indicam que a inoculação com *P. aryabhattai* promoveu incremento produtivo adicional em relação ao sistema convencional baseado exclusivamente na adubação mineral (Tabela 13).

Tabela 13. Médias ajustadas de produtividade de grãos para os tratamentos microbiológicos, estimadas por modelo linear generalizado (GLM) com distribuição Gamma e função de ligação log. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Microrganismo	Produtividade (kg ha ⁻¹)
Priestia aryabhattai	2649,48 a
P. aryabhattai + R. tropici	2022,79 b
R. tropici	1910,17 b
Controle negativo	1544,40 b
Controle positivo	1848,58 ab

Em relação aos regimes hídricos, a irrigação plena durante todo o ciclo proporcionou a maior produtividade média (2587,09 kg ha⁻¹), embora não tenha diferido

estatisticamente dos déficits hídricos aplicados apenas durante os períodos vegetativo e reprodutivo (Tabela 5). Por outro lado, o déficit hídrico mantido durante todo o ciclo resultou na menor produtividade observada (1304,28 kg ha⁻¹), diferindo significativamente dos demais regimes avaliados. O déficit aplicado durante o enchimento de grãos apresentou comportamento intermediário. Esses resultados demonstram que a intensidade e a duração do estresse hídrico foram determinantes para a redução da produtividade, sendo o déficit contínuo o tratamento mais prejudicial ao desempenho da cultura (Tabela 14).

Tabela 14 - Médias ajustadas de produtividade de grãos para os regimes hídricos, estimadas por modelo linear generalizado (GLM) com distribuição Gamma e função de ligação log. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

Regime hídrico	Produtividade (kg ha ⁻¹)
100% todo o ciclo	2587,09 a
50% vegetativo	2352,46 a
50% reprodutivo	2144,26 a
50% enchimento	1717,11 b
50% todo o ciclo	1304,28 c

Os efeitos do déficit hídrico e dos tratamentos microbiológicos foram mais evidentes nas variáveis associadas ao vigor das sementes do que na germinação final. A germinação permaneceu elevada na maioria das combinações avaliadas, variando entre 81 e 99%, indicando que a viabilidade das sementes foi preservada mesmo sob restrição hídrica. Esse comportamento é compatível com o processo de aquisição da qualidade fisiológica, uma vez que a capacidade germinativa é adquirida precocemente durante o desenvolvimento das sementes e representa um dos últimos atributos a serem perdidos durante a deterioração. Assim, a manutenção de elevados percentuais de germinação não indica máxima qualidade fisiológica.

Em contrapartida, testes mais sensíveis, como primeira contagem de germinação, envelhecimento acelerado e condutividade elétrica, evidenciaram diferenças entre os tratamentos. A primeira contagem variou de 51 a 96%, revelando maior sensibilidade dos atributos relacionados ao vigor. Destaca-se o desempenho de *Priestia aryabhatai* sob

déficit hídrico nas fases reprodutiva e de enchimento de grãos, alcançando 90% e 96% de primeira contagem, respectivamente, valores superiores aos observados para a maioria dos demais tratamentos. Esses resultados sugerem que a inoculação favoreceu a manutenção dos processos fisiológicos envolvidos na maturação das sementes, contribuindo para a aquisição de características associadas ao vigor.

Resultados semelhantes foram observados para a condutividade elétrica, cujos valores variaram entre 79,73 e 106,23 $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$. Como maiores valores refletem maior desorganização das membranas celulares e, conseqüentemente, menor vigor, os menores valores observados para *R. tropici* e para a coinoculação sob déficit hídrico durante o enchimento de grãos indicam que esses tratamentos contribuíram para a preservação da integridade celular das sementes. Por outro lado, *Priestia aryabhatai* apresentou valores mais elevados de condutividade elétrica em algumas condições, demonstrando que a resposta dos microrganismos à restrição hídrica depende tanto do estágio fenológico quanto do parâmetro fisiológico avaliado. De modo geral, os resultados indicam que os efeitos dos tratamentos sobre a qualidade fisiológica das sementes não foram uniformes entre os diferentes manejos hídricos, evidenciando que a interação entre microrganismos e ambiente pode influenciar de maneira distinta os componentes do vigor.

Os resultados do envelhecimento acelerado reforçam essa interpretação. Enquanto a germinação permaneceu elevada, a coinoculação apresentou reduções consistentes nos testes EA3 e EA5 sob déficit hídrico no reprodutivo, durante o enchimento de grãos e ao longo de todo o ciclo, indicando menor vigor das sementes produzidas nessas condições. Como o envelhecimento acelerado avalia a capacidade das sementes de manterem seu desempenho germinativo após exposição a condições severas de temperatura e umidade, os menores valores observados sugerem menor resistência à deterioração e aos estresses subsequentes, características diretamente associadas ao vigor.

Outro aspecto relevante foi o desempenho frequentemente elevado do controle negativo. Em diversas situações, especialmente sob déficit hídrico na fase reprodutiva e durante todo o ciclo, esse tratamento apresentou valores de vigor semelhantes ou superiores aos observados nos tratamentos inoculados. Esse resultado pode indicar que

as condições da área experimental favoreceram o desenvolvimento das plantas mesmo na ausência de inoculação e adubação mineral. A fertilidade natural do solo, associada à atuação da microbiota nativa, pode ter contribuído para o suprimento de nutrientes e para a manutenção da qualidade fisiológica das sementes. Além disso, populações microbianas naturalmente adaptadas às condições locais podem ter desempenhado funções semelhantes às dos microrganismos inoculados, reduzindo as diferenças entre tratamentos.

A interpretação dos resultados de produtividade reforça essa hipótese. Embora o controle negativo tenha apresentado desempenho satisfatório em alguns testes de qualidade fisiológica, sua produtividade média foi a menor entre os tratamentos microbiológicos (1544,40 kg ha⁻¹), enquanto *Priestia aryabhatai* proporcionou a maior produtividade (2649,48 kg ha⁻¹). Além disso, o déficit hídrico durante todo o ciclo promoveu a maior redução produtiva, resultando em apenas 1304,28 kg ha⁻¹, enquanto a irrigação plena alcançou 2587,09 kg ha⁻¹. Entretanto, mesmo sob a condição mais severa de estresse, a germinação das sementes permaneceu elevada, variando entre 84 e 97%. Esse comportamento sugere que, diante da limitação hídrica, as plantas reduziram a produção de vagens e o acúmulo de matéria seca nos grãos, refletindo em menor produtividade, mas preservaram a viabilidade das sementes produzidas. Tal resposta está de acordo com a teoria da aquisição da qualidade fisiológica, segundo a qual a capacidade germinativa é adquirida precocemente durante o desenvolvimento das sementes e tende a ser preservada mesmo quando atributos mais complexos, como o vigor, são afetados.

Assim, os resultados indicam que a restrição hídrica imposta às plantas-mãe afetou principalmente mecanismos relacionados à aquisição e manutenção do vigor das sementes, sem comprometer de forma expressiva sua viabilidade. De forma geral, os resultados reforçam a importância da utilização de testes de vigor na avaliação da qualidade fisiológica, uma vez que esses atributos representam estágios mais avançados do processo de aquisição da qualidade e são mais sensíveis às alterações ocorridas durante a maturação das sementes. Nesse contexto, a inoculação com *Priestia aryabhatai* apresentou resultados promissores em algumas condições de déficit hídrico, especialmente nas fases reprodutiva e de enchimento de grãos. Esses resultados

sugerem que o microrganismo pode ter contribuído para a manutenção dos processos fisiológicos envolvidos na maturação das sementes, favorecendo a aquisição de atributos relacionados ao vigor. Dessa forma, os resultados sugerem que alguns tratamentos microbiológicos contribuíram para reduzir os efeitos do estresse hídrico imposto às plantas-mãe, preservando atributos fisiológicos adquiridos durante a fase final de maturação das sementes.

Os resultados também evidenciam que a fase de enchimento de grãos e a maturação final constituem períodos críticos para a aquisição da qualidade fisiológica. Estudos de maturação de sementes demonstram que atributos relacionados ao vigor e à longevidade continuam sendo adquiridos após a obtenção da capacidade germinativa máxima. Assim, a ocorrência de déficit hídrico nessas fases pode comprometer mecanismos associados à organização das membranas celulares, ao acúmulo de compostos protetores e à tolerância à deterioração, refletindo principalmente em reduções de vigor, mesmo quando a germinação permanece elevada.

5. CONCLUSÃO

A inoculação com *Priestia aryabhattai* mostrou potencial para mitigar os efeitos do estresse hídrico durante a produção de sementes de feijão, contribuindo para a manutenção de atributos de vigor e para o aumento da produtividade da cultura. Os resultados reforçam o potencial desse microrganismo como ferramenta para incrementar a resiliência do feijoeiro sob condições de restrição hídrica.

REFERÊNCIAS

- ALEXIEVA, V.; SERGIEV, I.; MAPELLI, S.; KARANOV, E. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. **Plant, Cell and Environment**, v. 24, n. 12, p. 1337–1344, 2001.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration**: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome, v. 300, n. 9, p. D05109, 1998.
- BAGATELI, J. R. et al. Productive performance of soybean plants originated from seed lots with increasing vigor levels. **Journal of Seed Science**, v. 41, n. 2, p. 151–159, 1 jul. 2019.
- BOARETTO, L. F.; CARVALHO, G.; BORGIO, L.; CRESTE, M. G. A. L.; MAZZAFERA, P.; AZEVEDO, R. A. Water stress reveals differential antioxidant responses of tolerant and non-tolerant sugarcane genotypes. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 74, p. 165-175, 2014.
- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye-binding. **Analytical Biochemistry**, v. 72 p. 248-254, 1976.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF: SNAD/DNDV/CLAV, 398 p., 2009.
- BITRAGO, R. B.; BASHAN, L. E. G.; PEDRAZA, R. O. Bacterias promotoras de crecimiento vegetal en sistemas de agricultura sostenible. Mosquera (Colombia): **Agrosavia**, 2021. 372p.
- CLERKX, E.J.M.; VRIES, B.; RUYS, G.J.; GROOT, S.P.C.; KOORNNEEF, M. Characterization of *green seed*, an Enhancer of *abi3-1* in Arabidopsis That Affects Seed Longevity. **Plant Physiology**, Washington, v. 132, s/n, p. 1077–1084, 2003.
- DIAZ, C. et al. Seed quality and effect on rice yield: findings from farmer participatory experiments in Central Luzon, Philipines. **Philippine Journal of Crop Sciences**, v. 23, n. 2, p. 111–119, 1998.
- 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**, v. 102, n. 14, p. 6650-6657, 2022.
- EBONE, L. A. et al. Soybean Seed Vigor: Uniformity and Growth as Key Factors to Improve Yield. **Agronomy 2020**, Vol. 10, Page 545, v. 10, n. 4, p. 545, 10 abr. 2020.
- FAO. **FAOSTAT**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#home>>. Acesso em: 13 fev. 2020.
- FERNÁNDEZ, J. E.; ALCON, F.; DIAZ-ESPEJO, A.; HERNANDEZ-SANTANA, V.; CUEVAS, M. V. Water use indicators and economic analysis for on-farm irrigation decision: a case study of a super high density olive tree orchard. **Agricultural Water Management**, v. 237, p. 106074, 2020.

FRAIRE-VELÁZQUEZ, S.; BALDERAS-HERNÁNDEZ, V. E. Abiotic stress in plants and metabolic responses. In: VAHDATI, K.; LESLIE, C. **Abiotic stress: plant responses and applications in agriculture**. London: IntechOpen, 2013.

GIANNOPOLITIS, C. N.; REIS, S. K. Superoxide dismutase I: occurrence in higher plants. **Plant Physiology**. Waterbury, v. 59, p. 309-314, 1977.

GITZ, V. **Climate change and food security: risks and responses**. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) Report, v. 110, p. 2-4, 2016.

GRAVEN, L. M.; CARTER, P. R. **Seed Quality Effect on Corn Performance under Conventional and No-Tillage Systems (JPA)**J. Prod. Agric. 1991.

HAIR, J.F., JR.; BLACK, W.C.; BABIN, B.J.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L. **Análise multivariada de dados**, 6th ed.; Bookman: Porto Alegre, Brazil, 2009.

JANERO, D. R. Malondialdehyde and thiobarbituric acid-reactivity as diagnostic indices of lipid peroxidation and peroxidative tissue injury. **Free Radical Biology and Medicine**. v. 9, n. 6, p. 515–540, 1990.

JOOSEN, R. V. L. *et al.* Germinator: A software package for high-throughput scoring and curve fitting of Arabidopsis seed germination. **Plant Journal**, v. 62, p. 148–159, 2010.

JUSTINO, L. F.; ALVES JÚNIOR, J.; BATTISTI, R.; HEINEMANN, A. B.; LEITE, C. V.; EVANGELISTA, A. W. P.; CASAROLI, D. Assessment of economic returns by using a central pivot system to irrigate common beans during the rainfed season in Central Brazil. **Agricultural Water Management**, v. 224, 105749, 2019.

KHATUM, M.; SARKAR, S.; ERA, F. M.; ISLAM, A. K. M. M.; ANWAR, M. P.; FAHAD, S.; DATTA, R.; ISLAM, A. K. M. A. Drought stress in grain legumes: effects, tolerance mechanisms and management. **Agronomy**, v. 11, n. 12, 2374, 2021.

KRZYZANOWSKI, F. C. *et al.* **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: Abrates, 2020.

MENDOZA-LABRADOR, J.; ROMERO-PERDOMO, F.; HERNÁNDEZ, J-P.;URIBE-VÉLEZ, D.; BUITRAGO, R. B. *Bacillus* strains immobilized in alginate macrobeads enhance drought stress adaptation of guinea grass. **Rhizosphere**, v. 19, p. 100385, 2021.

MORENO-GALVÁN, A.; ROMERO-PERDONO, F.; ESTRADA-BONILA, G.; MENESES, C. H. S. G.; BONILA, R. R. Dry-caribbean *Bacillus* spp. strains ameliorate drought stress in maize by a strain-specific antioxidant response modulation. **Microorganisms**, v. 8, n. 6, p. 823, 2020.

NUNES JUNIOR, F. H.; GONDIM, F. A.; FREITAS, V. S.; BRAGA, B. B.; BRITO, P. O. B.; MARTINS, K. Crescimento foliar e atividades das enzimas antioxidativas em plântulas de girassol suplementadas com percolado de aterro sanitário e submetidas a estresse hídrico. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 12, n. 1, 2017.

OSAKABE, Y.; OKASABE, K.; SHINOZAKI, K.; TRAN, L-S. P. Response of plants to water stress. **Frontiers in plant science**, v. 5, p. 86, 2014.

OSAKABE, Y.; YAMAGUCHI_SHINOZAKI, K., SHINOZAKI, K.; TRAN, L-S. P. ABA control of plant macroelement membrane transport systems in response to water deficit and high salinity. **New Phytologist**, v. 202, n. 1, p. 35-49, 2014.

PÁDUA, G. P. DE et al. Tolerance level of green seed in soybean seed lots after storage. **Rev Bras Sementes**, v. 29, n. 3, p. 112–120, 2007.

PÁDUA, G. P. DE et al. RESPONSE OF SOYBEAN GENOTYPES TO THE EXPRESSION OF GREEN SEED UNDER TEMPERATURE AND WATER STRESSES1. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n. 3, p. 140–149, 2009.

PARK, Y-G.; MUN, B-G.; KANG, S-M.; HUSSAIN, A.; SHAHZAD, R.; SEO, C-W.; KIM, A-Y.; LEE, S-U.; OH, K. Y.; LEE, D. Y.; LEE, I-J.; 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, p. e0173203, 2017.

PEIXOTO, P. H. P. et al. Aluminum effects on lipid peroxidation and on activities of enzymes of oxidative metabolism in sorghum. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 11, n. 3, p. 137-143, 1999.

POLANIA, J.; POSCHENRIEDER, C.; RAO, I.; BEEBE, S. Estimation of phenotypic variability in symbiotic nitrogen fixation ability of common bean under drought stress using ¹⁵N natural abundance in grain. **European Journal of Agronomy**, v. 79, p. 66-73, 2016.

RAJALA, A. et al. **Seed quality effects on seedling emergence, plant stand establishment and grain yield in two-row barley**. 2011. Disponível em: <<http://www.evira.fi>>.

REICHERT, J. M.; RODRIGUES, M. F.; AWE, G. O.; RIQUELME, U. F. B.; KAISER, D. R.; REINERT, D. J. Common bean in highly variable weather conditions, on sandy soils, and food security in a subtropical environment. **Food and Energy Security**, v. 4, n. 3, p. 219-237, 2015.

RIBEIRO, N. D.; LONDERO, P. M. G.; CARGNELUTTI FILHO, A.; JOST, E.; POERSCH, N. L.; MALLMANN, C. A. Composição de aminoácidos de cultivares de feijão e aplicações para o melhoramento genético. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 1393-1399, 2007.

SMITH, M. R.; VENEKLAAS, 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, e0217099, 2019.

SURENDRAN, U.; SANDEEP, O.; JOSEPH, E. J. The impacts of magnetic treatment of irrigation water on plant, water and soil characteristics. **Agricultural Water Management**, v. 178, p. 21-29, 2016.

TEIXEIRA, R. N. et al. Gene expression profiling of the green seed problem in Soybean. **BMC Plant Biology**, v. 16, n. 1, p. 1–15, 1 fev. 2016.

TEKRONY, D. M. et al. Relationship of Seed Vigor to Crop Yield: A Review. **Crop Science**, v. 31, p. 816–822, 1991.

VON CAEMMERER, S.; FARQUHAR, G. D. Some relationships between the biochemistry of photosynthesis and the gas exchange of leaves. **Planta**, v. 153, n. 4, p. 376-387, 1981.

WUTKE, E. B.; C. A. F.; E. J. A. F.; C. S. A. M.; A. E. J.; L. L. B. S. R. P.; A. O.; C. H. Feijão (*Phaseolus vulgaris*). Em: CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; MATTOS JR, D.; BOARETTO, R. M.; VAN RAIJ, B. (Eds.). Boletim 100: recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. Campinas: IAC, 2022.