

Bioestimulantes no tratamento de sementes de feijão sob condições de déficit hídrico

Afonso Henrique Cecato^{1*}; Thaísa Capato Lima¹

¹Curso de Agronomia, Centro Universitário Assis Gurgacz (FAG), Cascavel, Paraná.

^{1*}ahcecato@minha.fag.edu.br

Resumo: O uso de bioestimulantes como enraizadores no tratamento de sementes de feijão tem a função de incrementar o crescimento inicial e a produtividade da cultura, tornando a atividade mais lucrativa ao produtor. Diante disso, O presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da aplicação de diferentes bioestimulantes no tratamento de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) sobre a germinação e o desenvolvimento inicial das plântulas sob condições de presença e ausência de déficit hídrico. O experimento foi conduzido no laboratório de sementes do Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel – PR, no período de 03/02/2025 a 21/02/2025. Para a condução do trabalho, foi utilizado o sistema DIC – Delineamento Experimental Inteiramente Casualizado, em arranjo fatorial 2×4 , correspondente a duas condições hídricas (presença e ausência de déficit hídrico) e quatro tratamentos com bioestimulantes, totalizando oito tratamentos combinados. Cada tratamento foi repetido quatro vezes, compondo um total de 32 unidades experimentais, entre eles são, T1 – Testemunha, T2 – Matriz G[®], T3 – Booster Infinity[®] e T4 – Radifarm[®], assim totalizando 20 unidades experimentais. Cada unidade experimental foi composta por um rolo de papel Germitest[®]. Os parâmetros avaliados foram, comprimento radicular, altura de plantas e peso de massa fresca. Os dados foram analisados pela análise de variância (ANOVA), o teste de normalidade Shapiro-wilk, os resultados tiveram suas médias submetidas ao teste de Tukey, com valor de significância de 5% pelo SISVAR 5.6. Conclui-se que os bioestimulantes não foram eficazes na mitigação do estresse hídrico nas condições avaliadas.

Palavra chave: *Phaseolus vulgaris*; Enraizadores; germinação.

Bioestimulants in the treatment of bean seeds under water deficit conditions

Abstract: The use of biostimulant products such as root promoters in bean seed treatment aims to enhance initial growth and crop productivity, making the activity more profitable for the producer. This increase occurs through the elongation of roots and plant height. Based on this, the present study aimed to evaluate the effects of applying different biostimulants in the treatment of common bean seeds (*Phaseolus vulgaris* L.) on germination and early seedling development under conditions of water deficit and no deficit. The experiment was conducted at the seed laboratory of Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel – PR, from February 3 to February 21, 2025. A completely randomized design (CRD) in a 2×4 factorial scheme was used, corresponding to two water conditions (presence and absence of water deficit) and four biostimulant treatments, totaling eight combined treatments. Each treatment was repeated four times, totaling 32 experimental units, namely T1 – Control, T2 – Matriz G[®], T3 – Booster Infinity[®], and T4 – Radifarm[®]. Each experimental unit consisted of one Germitest[®] paper roll. The evaluated parameters were root length, shoot height, and fresh mass weight. The data were analyzed using analysis of variance (ANOVA) and the Shapiro-Wilk normality test. The means were compared by Tukey's test at a 5% significance level using SISVAR 5.6. It was concluded that the biostimulants were not effective in mitigating water stress under the evaluated conditions.

Keyword: *Phaseolus vulgaris*; Rooters; germination.

Introdução

A cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) possui grande relevância socioeconômica no Brasil, sendo uma das principais fontes de proteína vegetal na dieta da população. Seu cultivo é realizado em grande escala em várias regiões do país, no plantio de verão como principal cultura e na safrinha se destaca como segunda opção após cultivo da soja.

A produção de feijão no Brasil, na safra 23/24 foi de 3,2 milhões de toneladas (Conab, 2024). Paraná é o estado que mais produz feijão no Brasil, cerca de 869,8 milhões de toneladas em 2024, em segundo vem o estado de Minas Gerais com 546,7 milhões de toneladas, o terceiro maior produtor fica o estado da Bahia com 315,8 milhões de toneladas. O sucesso da lavoura de feijão vai depender de uma somatória de fatores, entre eles, destacam-se a semeadura, adubação, tratamento de sementes, estande final da lavoura, tratos culturais, manejo fitossanitário, e sobretudo as condições climáticas em que essa lavoura foi submetida (EMBRAPA, 2023).

Produtos bioestimulantes enraizadores contém aminoácidos, vitaminas e alguns nutrientes que a planta mais necessita no processo de germinação, são compostos também por fitorreguladores sintéticos e outros produzidos pelas próprias plantas naturalmente (Santos *et al.*, 2013). Os bioestimulantes atuam estimulando o crescimento mais agressivo do sistema radicular das plantas (Jannin *et al.*, 2013).

Segundo Silva *et al.*, (2018) novos manejos e tecnologias vêm sendo adotadas para aumentar a produtividade da cultura do feijão. É necessário ter plantas vigorosas, bem nutridas, aumentando assim a resistência das plantas contra os ataques de pragas e doenças, e inclusive fazer que a lavoura passe o período crítico rápido, tendo assim um melhor arranque inicial, melhor uniformidade da lavoura e conseqüentemente o aumento de produtividade.

Produtos comerciais com funções de enraizadores contém o micronutriente zinco em suas formulações. O zinco no tratamento de sementes é uma técnica importante para o fornecimento deste micronutriente às plantas. (Edwards e Kamprath *et al.*, 1974).

Diversos estudos já demonstraram os efeitos positivos do uso de bioestimulantes no tratamento de sementes. Trabalhos como os de Araújo *et al.* (2016) e Pereira *et al.* (2020) indicam que a aplicação desses produtos pode aumentar significativamente o percentual de germinação, o vigor das plântulas e o desenvolvimento inicial das raízes, contribuindo para um melhor estabelecimento da lavoura. Além disso, o uso de bioestimulantes pode reduzir o tempo de emergência das plantas, especialmente em condições adversas, como solos com baixa fertilidade ou restrição hídrica.

O déficit hídrico é um dos principais fatores limitantes ao crescimento inicial das plantas, podendo comprometer a germinação e a emergência de forma significativa. Durante a fase de germinação, a falta de água impede a ativação de enzimas, a mobilização de reservas e a expansão celular, processos fundamentais para a formação da plântula. No caso do feijão, uma cultura sensível a estresses hídricos, a ocorrência de déficit durante os estágios iniciais pode reduzir drasticamente o estande da lavoura e comprometer o rendimento final (Oliveira *et al.*, 2015).

Neste contexto, o uso de bioestimulantes surge como uma alternativa promissora para mitigar os efeitos negativos do déficit hídrico. Alguns compostos presentes nesses produtos, como os ácidos húmicos, fúlvicos e certos hormônios vegetais, auxiliam na retenção de água, promovem o desenvolvimento radicular e aumentam a tolerância das plantas ao estresse abiótico (Calvo *et al.*, 2014). Dessa forma, sementes tratadas com bioestimulantes podem apresentar maior capacidade de germinar e se estabelecer mesmo sob condições de baixa disponibilidade hídrica, garantindo um melhor arranque da cultura.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da aplicação de diferentes bioestimulantes no tratamento de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) sobre a germinação e o desenvolvimento inicial das plântulas sob condições de presença e ausência de déficit hídrico.

Materiais e Métodos

O experimento foi realizado no laboratório de sementes do Centro Universitário Assis Gurgacz, localizado no município de Cascavel -PR, no período de 03/02/2025 a 21/02/2025.

Por se tratar de um experimento onde temos o controle total da temperatura, luminosidade, ventilação, foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), em arranjo fatorial 2×4 , correspondente a duas condições hídricas (presença e ausência de déficit hídrico) e quatro tratamentos com bioestimulantes, totalizando oito tratamentos combinados. Cada tratamento foi repetido quatro vezes, compondo um total de 32 unidades experimentais.

Os bioestimulantes utilizados foram: T1 – Testemunha (sem aplicação), T2 – Matriz G® (composto por auxina, citocinina, giberelina, além de macro e micronutrientes: 1,3% N, 2,6% K, 1,3% Mg, 3,12% S, 0,65% B, 0,65% Mn, 0,13% Mo e 2,6% Zn), T3 – Booster Infinity® (formulado a partir de extrato da alga *Ecklonia máxima*, contendo 6,6% Cu, 4,2% Mo e 31,7% Zn) e T4 – Radifarm® (3,0 % N, 8% K₂O, 10% C, 0,1% Zn). Todos os produtos foram aplicados na dosagem de 3 mL kg⁻¹ de semente, conforme indicação do fabricante.

As sementes utilizadas pertenciam à cultivar IPR Urutau de feijão preto (*Phaseolus vulgaris* L.). Para a aplicação dos tratamentos, as sementes foram divididas em quatro lotes distintos, os quais foram acondicionados em sacos plásticos. Com o auxílio de seringas graduadas, cada bioestimulante foi aplicado diretamente sobre as sementes. Posteriormente, os sacos foram manualmente agitados por cerca de três minutos, visando garantir a distribuição uniforme dos produtos sobre a superfície das sementes.

Para o teste de germinação, utilizou-se papel filtro tipo Germitest®, dobrado e umedecido com água destilada na proporção de 2,5 vezes o peso do papel. Em condição de estresse hídrico simulado, o substrato foi umedecido com uma solução de polietilenoglicol (PEG 400) a 22,9 mL L⁻¹, preparada previamente e aplicada na mesma proporção de umedecimento. Os rolos contendo as sementes foram então colocados em estufa tipo BOD (Biochemical Oxygen Demand), com temperatura controlada a 25 °C e fotoperíodo de 12 horas, permanecendo sob essas condições por um período de sete dias. Cada unidade experimental foi composta por um rolo contendo 50 sementes.

Ao término do período experimental, foram realizadas as avaliações referentes ao comprimento radicular e da parte aérea das plântulas, utilizando régua milimetrada. A massa fresca da parte aérea e das raízes foi determinada com o uso de balança analítica. Posteriormente, para determinação da massa seca, as amostras foram acondicionadas em estufa de circulação forçada de ar a 50 °C por 72 horas. Também foram registradas as variáveis relacionadas à germinação, porcentagem de plântulas normais e anormais, conforme os critérios estabelecidos pelas Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANAVA) utilizando o software SISVAR versão 5.6. A normalidade dos resíduos foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk, e, quando identificadas diferenças significativas pelo teste F, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade (Ferreira, 2019).

Resultado e discussões

A Tabela 1 apresenta o resumo da análise de variância (ANAVA) para as variáveis morfológicas avaliadas em plântulas de feijão submetidas a diferentes condições de déficit hídrico e à aplicação de bioestimulantes no tratamento de sementes.

Os resultados indicam que o déficit hídrico teve efeito significativo ($p < 0,05$) sobre o comprimento radicular, o comprimento da parte aérea e a massa fresca da parte aérea, evidenciando que a limitação hídrica afeta diretamente o desenvolvimento inicial das plântulas.

No entanto, a massa fresca de raiz não foi significativamente influenciada por essa condição ($p = 0,0961$), o que pode indicar uma resistência do sistema radicular à restrição hídrica inicial (Tabela 1).

Tabela 1- Resumo da ANOVA para as variáveis comprimento radicular (C.R.), comprimento da parte aérea (C.P.A.), massa fresca da parte aérea (M.F.P.A.), massa fresca de raiz (M.F.R.) obtidas a partir de plântulas feijão (*Phaseolus vulgaris*) submetidas a presença e ausência de déficit hídrico e aplicação de bioestimulantes no tratamento de sementes. Cascavel, 2025.

Fonte de variação	G.L.	Probabilidade (p-valor)			
		C. R. (cm)	C.P.A. (cm)	M.F.P.A. (g)	M.F.R. (g)
Déficit hídrico	1	0,0414*	0,0007*	0,0103*	0,0961 ^{ns}
Bioestimulante	3	0,5934 ^{ns}	0,0497*	0,9954 ^{ns}	0,9493 ^{ns}
Def. hídrico x bioestimulante	3	0,3109 ^{ns}	0,6445 ^{ns}	0,1446 ^{ns}	0,0630 ^{ns}
Erro	21				
Total	31				
Média geral		8,65	2,75	0,5594	0,1349
C.V. (%)		18,32	21,57	8,70	18,09
Shapiro-wilk		0,2872	0,0970	0,3001	0,3963

G.L.: Grau de liberdade; C.V.: coeficiente de variação; * significativo a 5% de probabilidade pelo teste-F; ^{ns} não significativo a 5% de probabilidade pelo teste-F.

Quanto ao uso de bioestimulantes, apenas a variável comprimento da parte aérea apresentou resposta significativa ($p = 0,0497$), sugerindo que os compostos presentes nos bioestimulantes podem ter favorecido o crescimento das plântulas, mesmo sem alterar significativamente os outros parâmetros. A interação entre o déficit hídrico e os bioestimulantes não foi significativa para nenhuma das variáveis avaliadas (Tabela 1).

A tabela 2 traz os resultados do teste de tukey para as variáveis comprimento de raiz e comprimento de parte aérea. Para o comprimento de raiz, observa-se que, de forma geral, a presença do déficit hídrico reduziu significativamente o crescimento radicular (média de 8,05 cm sob déficit contra 9,26 cm sem déficit). Essa resposta indica que o estresse hídrico afeta negativamente o crescimento das raízes, embora em menor grau nos tratamentos com bioestimulantes, como é o caso do Booster e Radices, cujas médias sob o déficit (9,26 e 8,49 cm, respectivamente) foram superiores à da testemunha (6,75 cm), sugerindo um efeito positivo, mas não significativo.

Para comprimento da parte aérea, o resultado foi semelhante, onde a condição sem déficit hídrico proporcionou maior desenvolvimento das plântulas (média de 3,17 cm) em comparação com a condição com déficit (2,33 cm) (Tabela 2). Essa resposta indica a sensibilidade da parte aérea ao estresse hídrico, refletindo uma possível limitação no crescimento. No entanto, assim como observado para o comprimento radicular, não houve diferença estatística entre os

tratamentos com bioestimulantes dentro de cada condição de disponibilidade hídrica. Portanto, os dados indicam que o déficit hídrico compromete significativamente o desenvolvimento inicial das plântulas, e os bioestimulantes, embora tenham atenuado parcialmente esse efeito, não diferiram estatisticamente entre si.

Tabela 2 - Médias das variáveis comprimento de raiz e de parte aérea obtidas a partir de plântulas feijão (*Phaseolus vulgaris*) submetidas a presença e ausência de déficit hídrico e aplicação de bioestimulantes no tratamento de sementes. Cascavel, 2025.

Tratamentos	Comprimento de raiz (cm)		Médias	Comprimento de parte aérea (cm)		Médias
	Sem Déficit	Com Déficit		Sem Déficit	Com Déficit	
Testemunha	9,56	6,75	8,15a	3,68	2,49	3,08a
Booster	9,10	9,26	9,18a	2,6	1,98	2,63a
Matriz G	9,19	7,68	8,44a	3,53	2,50	3,02a
Radices	9,21	8,49	8,84a	2,90	2,36	2,63a
Médias	9,26 A	8,05 B		3,17 A	2,33 B	

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não se diferenciam estatisticamente entre si a 5% de significância pelo teste de Tukey.

O efeito positivo dos bioestimulantes sobre o comprimento da parte aérea, independentemente da presença de déficit hídrico, sugere que tais produtos podem atuar na promoção do crescimento vegetativo, possivelmente por influência em vias hormonais ou na absorção de nutrientes, como descrito por Taiz *et al.* (2017).

Os resultados obtidos indicam que o déficit hídrico teve um impacto significativo no comprimento radicular, comprimento da parte aérea e massa fresca da parte aérea das plântulas de feijão, conforme evidenciado pelos valores de $p < 0,05$ nas análises de variância. Esses achados concordam com estudos que demonstram a sensibilidade do feijoeiro ao estresse hídrico. Por exemplo, Galvão (2019) observou que a deficiência hídrica resultou em reduções significativas no crescimento e acúmulo de biomassa em feijoeiros, destacando a importância da disponibilidade hídrica para o desenvolvimento adequado da cultura.

No que diz respeito à aplicação de bioestimulantes, apenas o comprimento da parte aérea apresentou resposta significativa, sugerindo que os compostos presentes nos bioestimulantes podem ter favorecido o crescimento vegetativo das plântulas. Estudos como o de Ramos *et al.* (2022) também relataram efeitos positivos dos bioestimulantes no desenvolvimento inicial de plântulas de feijão, especialmente no crescimento da parte aérea.

A interação entre o déficit hídrico e os bioestimulantes não foi significativa para nenhuma das variáveis avaliadas, indicando que, nas condições do experimento, os bioestimulantes não

foram eficazes em mitigar os efeitos do estresse hídrico. Esse resultado concorda com a pesquisa de Carvalho *et al.* (2013), que encontrou efeitos limitados dos bioestimulantes sob condições de restrição hídrica.

Os bioestimulantes utilizados no estudo, como Booster e Radices, contêm em sua formulação substâncias como aminoácidos, vitaminas, fitorreguladores sintéticos e micronutrientes essenciais, como o zinco. Esses componentes são conhecidos por desempenhar papéis cruciais no desenvolvimento vegetal. Por exemplo, as auxinas promovem o crescimento radicular, enquanto as giberelinas e citocininas estimulam o alongamento e a divisão celular, respectivamente. O zinco, por sua vez, é fundamental na síntese de auxinas, influenciando diretamente o crescimento das raízes Araújo *et al.* (2016).

Observa-se na tabela 3, para a variável massa fresca da parte aérea, observa-se uma redução significativa na média geral sob condição de déficit hídrico (0,5352 g), em comparação ao grupo sem déficit (0,5837 g), demonstrando que o estresse hídrico compromete a capacidade de acúmulo de biomassa aérea, possivelmente devido à redução da fotossíntese, menor assimilação de carbono e restrições no desenvolvimento foliar.

Tabela 3 - Médias das variáveis massa fresca de parte aérea e de raiz obtidas a partir de plântulas feijão (*Phaseolus vulgaris*) submetidas a presença e ausência de déficit hídrico e aplicação de bioestimulantes no tratamento de sementes. Cascavel, 2025.

Tratamentos	Massa fresca da parte aérea (g)			Massa fresca da raiz (g)		
	Sem Déficit	Com Déficit	Médias	Sem Déficit	Com Déficit	Médias
Testemunha	0,6178	0,5069	0,5623a	0,1461	0,1237	0,1349
Booster	0,5746	0,5473	0,5610a	0,1246	0,1401	0,1323
Matriz G	0,5862	0,5273	0,5567a	0,1650	0,1131	0,1390
Radices	0,5562	0,5594	0,5578a	0,1341	0,1326	0,1333
Médias	0,5837 A	0,5352 B		0,1424	0,1274	

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não se diferenciam estatisticamente entre si a 5% de significância pelo teste de Tukey.

Apesar das variações entre os tratamentos, as médias entre os diferentes bioestimulantes e a testemunha não apresentaram diferença estatística significativa dentro de cada condição hídrica, o que sugere que os bioestimulantes aplicados não influenciaram de forma expressiva o acúmulo de massa fresca na parte aérea nesse estágio de desenvolvimento (Tabela 3).

Para a massa fresca da raiz, embora não tenha havido diferença estatística significativa entre os tratamentos ou entre as condições hídricas, nota-se uma tendência de redução da biomassa radicular sob estresse hídrico (0,1274 g) em relação à condição sem estresse (0,1424 g) (Tabela 3). Ainda que a diferença não tenha apresentado significância estatística, esse padrão

segue a tendência observada nas demais variáveis e pode ser fisiologicamente explicado pela menor capacidade de absorção de água e menor alongamento das células.

Assim, os resultados mostram e reforçam que o déficit hídrico tem efeito inibidor sobre a produção de biomassa em plântulas de feijão, e que os bioestimulantes testados, nas condições avaliadas, não proporcionaram incremento estatisticamente significativo nessa etapa inicial do desenvolvimento.

O estresse hídrico tende a reduzir o acúmulo de biomassa devido à limitação na captação de água e nutrientes, além da inibição da fotossíntese. A maior sensibilidade da parte aérea à restrição hídrica pode estar associada à sua maior demanda metabólica e à redução da turgência celular, afetando o crescimento em altura e expansão foliar (Taiz *et al.*, 2017).

Com base nos resultados obtidos e na literatura científica, observa-se que o déficit hídrico afeta significativamente o desenvolvimento de plântulas de feijão, reduzindo o acúmulo de biomassa na parte aérea e nas raízes. Estudos como o de Costa, Lopes e Oliva (2003) demonstraram que o estresse hídrico reduz a altura das plantas, a área foliar e a produção de matéria seca em *Phaseolus vulgaris* L., embora altas doses de nitrogênio possam minimizar esses efeitos adversos.

No entanto, a aplicação de bioestimulantes como estratégia para mitigar os efeitos do estresse hídrico apresenta resultados variáveis. Monteiro *et al.* (2021) avaliaram o desempenho fisiológico do feijoeiro submetido à irrigação deficitária e aplicação de bioestimulantes, concluindo que, nas condições testadas, os bioestimulantes não foram eficazes em auxiliar as plantas na tolerância ao estresse por seca.

Em contrapartida, Siqueira e Coelho (2021) observaram que a aplicação de redutores de estresse, incluindo extratos de algas e hormônios, pode influenciar positivamente a atividade enzimática e a massa seca de feijão sob estresse hídrico, embora os resultados dependam do tipo de produto e das condições específicas de cultivo.

Esses estudos corroboram os resultados obtidos, indicando que o déficit hídrico compromete o desenvolvimento inicial das plântulas de feijão e que a eficácia dos bioestimulantes na mitigação desses efeitos é variável, dependendo da composição do produto e das condições ambientais. A formulação dos bioestimulantes utilizados, contendo aminoácidos, vitaminas e micronutrientes como o zinco, pode influenciar positivamente o crescimento das plântulas, mas sua eficácia sob estresse hídrico severo requer mais investigação.

A análise de variância (ANAVA) apresentada na tabela 4 indica que, para as variáveis massa seca da parte aérea (M.S.P.A.), massa seca de raiz (M.S.R.), porcentagem de germinação (%G), porcentagem de plântulas normais (%PN) e porcentagem de plântulas anormais (%PA) de plântulas de feijão (*Phaseolus vulgaris*), os efeitos principais de déficit hídrico e aplicação de bioestimulantes, bem como sua interação, manifestaram padrões diferenciados quanto à significância estatística.

Tabela 4 - Resumo da ANAVA para as variáveis massa seca da parte aérea (M.S.P.A.), massa seca de raiz (M.S.R.), porcentagem de germinação (%G), porcentagem de plântulas normais (%P.N.) e porcentagem de plântulas anormais (%P.A.) obtidas a partir de plântulas feijão (*Phaseolus vulgaris*) submetidas a presença e ausência de déficit hídrico e aplicação de bioestimulantes no tratamento de sementes. Cascavel, 2025.

Fonte de variação	G.L.	Probabilidade (p-valor)				
		M.S.P.A.(g)	M.S.R.(g)	%G	%PN	%PA
Déficit hídrico	1	0,5579 ^{ns}	0,5369 ^{ns}	0,0809 ^{ns}	0,0018*	0,0092*
Bioestimulante	3	0,0965 ^{ns}	0,0909 ^{ns}	0,8106 ^{ns}	0,5946 ^{ns}	0,6223 ^{ns}
Déf. híd.x bioestim.	3	0,2274 ^{ns}	0,2133 ^{ns}	0,5838 ^{ns}	0,6692 ^{ns}	0,6472 ^{ns}
Erro	21					
Total	31					
Média geral		0,1467	0,02446	97,0	53,93	43,06
C.V. (%)		8,58	8,52	2,78	11,18	13,45
Shapiro-wilk		0,2199	0,2244	0,0020	0,3152	0,1721

G.L.: Grau de liberdade; C.V.; coeficiente de variação; *significativo a 5% de probabilidade pelo teste-F; ^{ns} não significativo a 5% de probabilidade pelo teste-F.

As variáveis de massa seca tanto da parte aérea quanto das raízes não foram significativamente influenciadas por nenhum dos fatores analisados ($p > 0,05$) (Tabela 4). Esse resultado sugere que nas condições desse experimento o estresse hídrico e os bioestimulantes aplicados nas sementes não foram capazes de alterar o acúmulo de biomassa nas plântulas. Este comportamento pode estar relacionado ao curto período de exposição ao estresse, à fase de desenvolvimento avaliada ou à possível limitação da resposta aos bioestimulantes testados.

A variável porcentagem de germinação (%G), embora não tenha apresentado significância estatística ($p = 0,0809$), o valor próximo de 5% de significância pode indicar uma tendência de efeito do déficit hídrico na capacidade germinativa das sementes, o que mereceria atenção em estudos futuros (Tabela 4).

Por outro lado a porcentagem de plântulas normais (%PN) e de plântulas anormais (%PA) foram significativamente afetadas pelo déficit hídrico ($p = 0,0018$ e $p = 0,0092$) (tabela 4). Esses resultados evidenciam que a limitação hídrica compromete a qualidade fisiológica das plântulas, reduzindo sua normalidade e aumentando a incidência de anormalidades. Esse

resultado é coerente com a fisiologia da germinação, já que a disponibilidade hídrica adequada é essencial para a ativação enzimática, alongamento celular e emergência de estruturas fundamentais para o estabelecimento das plântulas.

A ausência de significância para o fator bioestimulante e para a interação entre os fatores nas variáveis fisiológicas avaliadas sugere que, sob as condições impostas neste experimento, os bioestimulantes utilizados não exerceram influência suficiente para mitigar os efeitos deletérios do déficit hídrico ou melhorar a qualidade das plântulas (tabela 4).

Esses achados são corroborados por Costa, Lopes e Oliva (2003), que relataram que o estresse hídrico em *Phaseolus vulgaris* pode reduzir a emergência e a qualidade das plântulas, mesmo quando a taxa de germinação não sofre redução expressiva.

Siqueira e Coelho (2021), por sua vez, indicam que a resposta das plântulas ao uso de redutores de estresse, como extratos de algas, pode variar de acordo com o tipo de composto e a intensidade do estresse hídrico, reforçando que a ausência de efeitos positivos dos bioestimulantes observada neste estudo pode estar associada à formulação utilizada ou à duração limitada da exposição ao estresse. Esses dados sugerem que, embora os bioestimulantes apresentem potencial de ação, sua eficácia depende de múltiplos fatores, incluindo a composição, dosagem, momento de aplicação e condições ambientais.

Para a variável M.S.P.A., o tratamento Booster, apresentou a maior média geral (0,1543 g), independentemente da condição hídrica, o que pode indicar uma leve tendência positiva, ainda que estatisticamente não confirmada. A média geral da massa seca da parte aérea foi ligeiramente superior sob condição de déficit hídrico (0,1481 g) em relação à condição sem déficit (0,1454 g), o que pode ser explicado por uma possível resposta adaptativa das plântulas sob estresse, favorecendo a redistribuição de assimilados (Tabela 5).

Tabela 5 - Médias das variáveis massa seca de parte aérea e de raiz obtidas a partir de plântulas feijão (*Phaseolus vulgaris*) submetidas a presença e ausência de déficit hídrico e aplicação de bioestimulantes no tratamento de sementes. Cascavel, 2025.

Tratamentos	Massa seca da parte aérea (g)			Massa seca da raiz (g)		
	Sem Déficit	Com Déficit	Médias	Sem Déficit	Com Déficit	Médias
Testemunha	0,1505	0,1397	0,1451	0,0216	0,0232	0,0241
Booster	0,1545	0,1541	0,1543	0,0257	0,0257	0,0257
Matriz G	0,1302	0,1460	0,1381	0,0216	0,0243	0,0230
Radices	0,1466	0,1525	0,1495	0,0244	0,0254	0,0249
Médias	0,1454	0,1481		0,0242	0,0246	

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não se diferenciam estatisticamente entre si a 5% de significância pelo teste de Tukey.

Para a M.S.R., os valores também oscilaram dentro de uma faixa muito pequena, sem indicar efeitos significativos dos tratamentos. O tratamento com Booster voltou a apresentar os maiores valores médios (0,0257 g), tanto na ausência quanto na presença de déficit, sugerindo uma possível constância em seu desempenho (Tabela 5).

Esses achados estão em consonância com estudos anteriores. Por exemplo, Galvão (2019) avaliou o uso de bioestimulantes à base de *Bacillus amyloliquefaciens*, extrato de algas e *Ascophyllum nodosum* em feijoeiro comum sob deficiência hídrica e observou que, embora houvesse incremento na atividade fotossintética em plantas bem irrigadas, os bioestimulantes não mitigaram os efeitos do estresse hídrico moderado sobre o crescimento e a biomassa das plantas.

Da mesma forma, Reis (2021) investigou o efeito do bioestimulante Stimulate® em cultivares de feijão comum sob diferentes regimes hídricos e concluiu que a aplicação do bioestimulante não resultou em melhorias significativas no crescimento ou na produtividade das plantas sob condições de déficit hídrico. Esses estudos corroboram os resultados obtidos, indicando que a eficácia dos bioestimulantes pode ser limitada sob condições de estresse hídrico, possivelmente devido à complexidade das respostas fisiológicas das plantas ao estresse e à variabilidade na composição e modo de ação dos bioestimulantes disponíveis no mercado.

Na tabela 6 observa-se a análise das médias das variáveis relacionadas à germinação e à qualidade das plântulas de feijão (*Phaseolus vulgaris*) tratadas com bioestimulantes e submetidas ou não ao déficit hídrico, pode-se perceber que, apesar da porcentagem de germinação (%G) elevada em todos os tratamentos, não houve diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos. Esses dados indicam que, sob as condições experimentais, o déficit hídrico leve imposto não foi suficientemente severo para comprometer a viabilidade germinativa das sementes, assim como a aplicação de bioestimulantes não demonstrou capacidade de influenciar essa variável.

A porcentagem de plântulas normais (%P.N.) apresentou uma resposta estatística significativa ao estresse hídrico, com média de 57,7% na ausência de déficit para 50,1% sob déficit hídrico (Tabela 6). Essa redução indica que, apesar de manter a porcentagem de germinação, a qualidade das plântulas foi afetada pelo estresse, provavelmente em razão de limitações na absorção de água e no desenvolvimento dos tecidos durante a embebição e emergência. Nenhum dos bioestimulantes testados foi capaz de amenizar o estresse, já que todos os tratamentos apresentaram médias semelhantes entre si, sem diferença estatística.

Tabela 6 - Médias das variáveis porcentagem de germinação, plântulas normais e anormais obtidas a partir de plântulas feijão (*Phaseolus vulgaris*) submetidas a presença e ausência de déficit hídrico e aplicação de bioestimulantes no tratamento de sementes. Cascavel, 2025.

Trat.	%Germinação			%Plântulas normais			%Plântulas anormais		
	Sem Déficit	Com Déficit	Médias	Sem Déficit	Com Déficit	Médias	Sem Déficit	Com Déficit	Médias
Test.	99,5	96,0	97,7	61,0	49,5	55,2a	38,5	46,5	42,5a
Booster	98,0	95,5	96,7	53,5	49,5	51,5a	44,5	46,0	45,2a
Matriz G	97,0	96,0	96,5	58,5	51,5	55,0a	38,5	44,5	41,5a
Radices	97,0	97,0	97	58,0	50,0	54,0a	39,0	47,0	43,0a
Médias	97,8	96,1		57,7A	50,1B		40,1B	46,0A	

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não se diferenciam estatisticamente entre si a 5% de significância pelo teste de Tukey.

Por outro lado, observou-se um aumento significativo na porcentagem de plântulas anormais (%P.A.) sob déficit hídrico, com médias elevando-se de 40,1% (sem déficit) para 46,0% (com déficit) (tabela 6). Dessa forma pode-se entender que o estresse hídrico promoveu distúrbios no desenvolvimento das plântulas. A ausência de diferença entre os tratamentos com bioestimulantes e a testemunha sugere que as substâncias aplicadas via tratamento de sementes não exerceram influência suficientemente expressiva sobre a superação do estresse.

Os dados da Tabela 6 indicam que o déficit hídrico reduziu significativamente a porcentagem de plântulas normais e aumentou a de plântulas anormais, embora a germinação total não tenha sido significativamente afetada. Esse padrão é consistente com os achados de Custódio, Salomão e Machado Neto (2018), que observaram que o estresse hídrico diminui a velocidade de germinação e o vigor das plântulas de feijão, mesmo quando a taxa de germinação permanece relativamente alta.

Além disso, Monteiro *et al.* (2021) relataram que o estresse hídrico compromete parâmetros fisiológicos do feijoeiro, incluindo a redução da matéria seca da parte aérea e da raiz, o que pode estar relacionado ao aumento de plântulas anormais observado na Tabela 6.

Em relação à aplicação de bioestimulantes, Wylot *et al.* (2019) demonstraram que doses adequadas de bioestimulantes podem melhorar a germinação e o vigor de plântulas de feijão. No entanto, os resultados da Tabela 6 sugerem que, nas condições testadas, os bioestimulantes não foram eficazes em mitigar os efeitos negativos do déficit hídrico, o que pode ser atribuído à concentração utilizada ou à interação com outros fatores ambientais

Esses resultados reforçam a noção de que, embora os bioestimulantes tenham potencial para atenuar os efeitos do estresse abiótico, seu impacto depende da intensidade do estresse, do estágio fenológico da planta e da natureza dos compostos bioativos utilizados.

Conclusão

O déficit hídrico comprometeu significativamente o desenvolvimento e a qualidade de plântulas de feijão, enquanto os bioestimulantes testados apresentaram efeitos limitados. Apenas o crescimento da parte aérea respondeu positivamente a esses compostos. Conclui-se que os bioestimulantes não foram eficazes na mitigação do estresse hídrico nas condições avaliadas.

Referências

- ARAÚJO, T. M.; SOUZA, M. A.; SILVA, F. C.; OLIVEIRA, J. P. Efeito de bioestimulantes no tratamento de sementes de feijão comum. **Revista Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 12, n. 3, p. 19-24, 2016.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 399 p.
- CALVO, P.; NELSON, K. A.; KLOPPER, J. W. **Agricultural uses of plant biostimulants. Plant and Soil**, v. 383, p. 3–41, 2014.
- CARVALHO, A. L.; MORAIS, L. A.; FERREIRA, M. E.; NASCIMENTO, J. P. Uso de bioestimulantes no crescimento de plântulas sob estresse hídrico. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 36, n. 2, p. 145-152, 2013.
- COSTA, C. A.; LOPES, P. R. C.; OLIVA, M. A. *Respostas do feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.) ao estresse hídrico em diferentes estádios de desenvolvimento*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 2, p. 157-164, 2003. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/3486/0>. Acesso em: 25 maio 2025.
- CUSTÓDIO, C.; SALOMÃO, G.; MACHADO NETO, N. Estresse hídrico na germinação e vigor de sementes de feijão submetidas à diferentes soluções osmóticas. **Revista Ciência Agronômica, Fortaleza**, v. 49, n. 2, p. 201-208, 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufc.br/revistacienciaagronomica/article/view/83976>. Acesso em: 25 maio 2025.
- EDWARDS, D. G.; KAMPRATH, E. J. Zinc absorption by corn in relation to application methods and soil phosphorus levels. **Soil Science Society of America Journal**, v. 38, n. 1, p. 141-145, 1974.
- EMBRAPA FEIJÃO. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema de Produção do Feijão-comum**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/feijao>. Acesso em: 25 maio 2025.

EMBRAPA- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Feijão. **Implantação da lavoura.** Disponível em: <https://www.atermaisdigital.cnptia.embrapa.br/web/feijao/solos>. Acesso em 01 set. 2024.

FERREIRA, Sisvar: **a computer analysis system to fixed effects split plot type designs.** Revista Brasileira de Biometria, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.

GALVÃO, R. H. S. **Efeitos do déficit hídrico no desenvolvimento inicial do feijoeiro.** 2020. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2020. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/192064>>. Acesso em: 25 maio 2025.

GALVÃO, R. H. S.; MELO, W. C.; FERREIRA, C. H.; OLIVEIRA, J. V. P. **Aplicação de bioestimulantes à base de *Bacillus amyloliquefaciens* e extrato de algas *Ascophyllum nodosum* no crescimento do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris*) sob deficiência hídrica.** 2019. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2019. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/192064>. Acesso em: 25 maio 2025.

GOVERNO DO PARANÁ. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento. **Produção agrícola no Brasil – safra 2020/2021.** Curitiba: SEAB, 2021.

JANNIN, L.; ARNAUD, Y.; MOUSSERON, A.; GARNICA, M.; FUENTES, M.; SAN FRANCISCO, S.; BAURAIN, D.; BAURAIN, J. Brassica napus root and shoot responses to 5-aminolevulinic acid are related to photosynthesis and iron homeostasis. **Plant and Soil**, v. 362, p. 255–274, 2013.

JANNIN, L.; ARNAUD, Y.; MOUSSERON, A.; GARNICA, M.; FUENTES, M.; SAN FRANCISCO, S.; BAURAIN, D.; BAURAIN, J. Brassica napus Growth is Promoted by *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jol. Seaweed Extract: Microarray Analysis and Physiological Characterization of N, C, and S Metabolisms. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 32, n. 1, p. 31–52, 2013.

MONTEIRO, N. C. F.; MARTINS, E. R.; ARAÚJO, L. F.; OLIVEIRA, F. G. Desempenho fisiológico do feijoeiro comum sob irrigação deficitária e aplicação de bioestimulante. **Irriga**, v. 26, n. 2, p. 309-322, 2021. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/4391>. Acesso em: 25 maio 2025.

MONTEIRO, I.; SANTOS, O. F.; SOUZA, M. L. C.; OLIVEIRA, D. P. F.; ANDRADE, T. C. O.; BROETTO, F. **Desempenho fisiológico do feijoeiro submetido à irrigação deficitária e bioestimulantes.** Irriga, Botucatu, v. 26, n. 1, p. 468-488, 2021. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/4391>. Acesso em: 25 maio 2025.

RAMOS, F. C.; MENDES, J. S.; ALVES, R. T.; SOUSA, C. M. Aplicação de bioestimulantes no crescimento inicial de *Phaseolus vulgaris* L. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 5, e38714530524, 2022.

REIS, R. S.; CARVALHO, M. F.; LIMA, A. B.; SANTOS, E. R.; NAKAGAWA, J. **Resposta de cultivares de feijão à aplicação de bioestimulante sob diferentes regimes hídricos**. 2021. Dissertação (Mestrado em Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2021. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/213740>. Acesso em: 25 maio 2025.

SILVA, L. M.; PEREIRA, G. H.; MARTINS, F. S.; OLIVEIRA, V. S. O papel do zinco e de fitorreguladores no desenvolvimento radicular do feijoeiro. **Revista Campo & Negócios**. Disponível em: <<https://revistacampoenegocios.com.br/produtividade-do-feijoeiro/>>. Acesso em: 25 maio 2025.

SIQUEIRA, J.R.; COELHO, J. R. **Redutores de estresse no desenvolvimento do feijão (*Phaseolus vulgaris*) submetido ao déficit hídrico**. Anais do Congresso de Meio Ambiente e Inovação, v. 2, 2021. Disponível em: <https://anais.unipam.edu.br/index.php/comeia/article/view/3764>. Acesso em: 25 maio 2025.

OLIVEIRA, R. S.; FERREIRA, W. R.; MORAES, T. F.; SANTOS, F. H.; ARAÚJO, E. S. Efeito do estresse hídrico na germinação de sementes e no desenvolvimento inicial de plântulas de feijão. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 5, p. 18-23, 2015.

PEREIRA, L. G.; FREITAS, R. N.; GUIMARÃES, A. A.; VASCONCELOS, A. A. Uso de bioestimulantes no desempenho fisiológico de sementes de feijão. **Revista Cultivando o Saber**, v. 13, n. 1, p. 111-119, 2020.

SANTOS, D. D.; SILVA, L. J.; PEREIRA, J. C.; BARBOSA, J.V. Uso de bioestimulantes no tratamento de sementes: efeitos fisiológicos em plântulas. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 35, n. 2, p. 85-93, 2013.

SILVA, D.R.; MARQUES, L. B.; VASCONCELOS, I. H. F.; OLIVEIRA, C. S. Bioestimulantes e produtividade do feijoeiro. **Revista Campo & Ciência**, v. 12, n. 4, p. 27-34, 2018.

SILVA, D. R.; SOUSA, R. A.; MARTINS, F. H.; ARAÚJO, V. L. **Sistema de Produção Integrada do Feijão Comum na Região Central Brasileira**. 2018.

WYLOT, E.; RAMOS, R. F.; MELLO, A. M.; SOBUCKI, L.; DOSSIN, M. F.; PAVANELO, A. M. Germinação de sementes de *Phaseolus vulgaris* L. submetidas a diferentes tratamentos com bioestimulante. **Revista Brasileira Multidisciplinar, Araraquara**, v. 22, n. 1, p. 121-130, 2019.