

***Bacillus aryabhattai* como mitigador do déficit hídrico no cultivo do algodoeiro**

Bacillus aryabhattai as mitigator of water deficit in cotton cultivation

Bacillus aryabhattai como mitigador del déficit hídrico en el cultivo del algodón

Recebido: 10/02/2026 | Revisado: 13/02/2026 | Aceitado: 13/02/2026 | Publicado: 14/02/2026

João Henrique Zonta

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1113-2813>

Embrapa Algodão, Brasil

E-mail: joao-henrique.zonta@embrapa.br

Josiane Isabela da Silva Rodrigues

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2703-8079>

Universidade Estadual do Maranhão, Brasil

E-mail: josianerodrigues@professor.uema.br

João Batista Zonta

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2487-1797>

Embrapa Maranhão, Brasil

E-mail: joao.zonta@embrapa.br

Resumo

A produção brasileira de algodão enfrenta desafios significativos devido ao déficit hídrico, especialmente em cultivos de segunda safra no MATOPIBA. Este estudo teve como objetivo avaliar o efeito do bioinsumo *Bacillus aryabhattai* (Auras®) na germinação, desenvolvimento inicial e tolerância ao estresse hídrico do algodoeiro. A pesquisa foi conduzida em duas fases: a primeira avaliou a qualidade fisiológica de cinco cultivares (BRS 286, BRS 433 FL B2RF, BRS Rubi, BRS Jade e BRS Verde) tratadas com cinco doses do bioinsumo (0, 2, 4, 6 e 8 mL kg⁻¹). Na segunda fase, a cultivar BRS Jade, que apresentou melhor desempenho inicial, foi submetida a regimes de irrigação plena e déficit hídrico por sete dias. Os resultados mostraram que a dose de 2 mL kg⁻¹ foi a mais eficaz para o desenvolvimento radicular em areia. Sob estresse hídrico, as plantas tratadas com o bioinsumo, independentemente da dose, mantiveram crescimento em altura e acúmulo de biomassa equivalentes às plantas sob irrigação plena, diferenciando-se positivamente do controle sem tratamento. Conclui-se que o *B. aryabhattai* atua como um eficiente biostimulante e mitigador de déficit hídrico, promovendo maior resiliência fisiológica e morfológica nas fases iniciais da cultura do algodoeiro.

Palavras-chave: Bioinsumos; Mudanças climáticas; Veranicos.

Abstract

Cotton production in Brazil faces significant challenges due to water deficit, especially in second-crop cultivation. This study aimed to evaluate the effect of the bioinput *Bacillus aryabhattai* (Auras®) on the germination, initial development, and water stress tolerance of cotton plants. The research was conducted in two phases: the first evaluated the physiological quality of five cultivars (BRS 286, BRS 433 FL B2RF, BRS Rubi, BRS Jade, and BRS Verde) treated with five doses of the bioinput (0, 2, 4, 6, and 8 mL kg⁻¹). In the second phase, the BRS Jade cultivar, which showed the best initial performance, was subjected to full irrigation and a seven-day water deficit regime. The results showed that the 2 mL kg⁻¹ dose was the most effective for root development. Under water stress, plants treated with the bioinput, regardless of the dose, maintained height growth and biomass accumulation equivalent to plants under full irrigation, performing significantly better than the untreated control. It is concluded that *B. aryabhattai* acts as an efficient biostimulant and water deficit mitigator, promoting greater physiological and morphological resilience in the early stages of the cotton crop.

Keywords: Bioinputs; Climate change; Dry spells.

Resumen

La producción de algodón en Brasil enfrenta desafíos significativos debido al déficit hídrico, especialmente en los cultivos de segunda cosecha. Este estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto del bioinsumo *Bacillus aryabhattai* (Auras®) en la germinación, el desarrollo inicial y la tolerancia al estrés hídrico del algodón. La investigación se realizó en dos fases: la primera evaluó la calidad fisiológica de cinco cultivares (BRS 286, BRS 433 FL B2RF, BRS Rubi, BRS Jade y BRS Verde) tratados con cinco dosis del bioinsumo (0, 2, 4, 6 y 8 mL kg⁻¹). En la segunda fase, el cultivar BRS Jade, que mostró el mejor desempeño inicial, fue sometido a regímenes de riego pleno y déficit hídrico durante siete días. Los resultados mostraron que la dosis de 2 mL kg⁻¹ fue la más eficaz para el desarrollo radicular. Bajo estrés hídrico, las plantas tratadas con el bioinsumo, independientemente de la dosis, mantuvieron un crecimiento en altura y acumulación de biomasa equivalentes a las plantas bajo riego pleno, diferenciándose

positivamente del control sin tratamiento. Se concluye que el *B. aryabhatai* actúa como un eficiente bioestimulante y mitigador del déficit hídrico, promoviendo una mayor resiliencia fisiológica y morfológica en las fases iniciales del cultivo de algodón.

Palabras clave: Bioinsumos; Cambio climático; Veranillos.

1. Introdução

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de algodão e o maior país exportador, sendo a área cultivada na safra 2023/24 estimada em 1.935 mil hectares, com produção estimada em 8.638,6 mil toneladas de algodão em caroço nesta safra (CONAB, 2024). Na região conhecida como MATOPIBA, estados como Maranhão, Piauí e Tocantins cultivam áreas expressivas de algodão em segunda safra, sendo o Estado do Maranhão o quinto maior produtor nacional, com área de cultivo estimada em 33 mil hectares, com a maior produtividade média do país, de 4.805 Kg ha⁻¹ de algodão em caroço (CONAB, 2024). Estima-se que a safra 2024/2025 chegue a 3,95 milhões de toneladas de algodão (ABRAPA, 2025).

A produção de algodão requer utilização de grande quantidade de insumos agrícolas, defensivos e fertilizantes, além disso o algodoeiro necessita de uma quantidade de água suficiente durante seu estágio vegetativo e reprodutivo para não comprometer sua produtividade e qualidade da fibra. A deficiência de água durante o ciclo de cultivo afeta o alongamento das folhas, além de afetar negativamente vários processos fisiológicos, reduzindo também o crescimento radicular, sendo a fase de florescimento a mais afetada pelo déficit hídrico, causando “shedding”, redução na formação de maçãs e no rendimento (Hejnak et al., 2016).

O déficit hídrico pode ser considerado o fator abiótico que mais afeta negativamente o crescimento, rendimento e qualidade das fibras do algodoeiro, segundo Majid et al. (2020). E é sabido que o cultivo em segunda safra, devido à época do ano, é mais suscetível a veranicos, o que aliado a muitas áreas com condições de solo arenosos, acarreta potenciais períodos de déficit hídrico na cultura durante o seu ciclo de cultivo.

Visando superar alguns tipos de estresses abióticos, a utilização de bactérias promotoras do crescimento de plantas é uma alternativa que se difunde cada vez mais na agricultura. Esses agentes encontram-se principalmente na região da rizosfera, podendo desempenhar funções importantes, como proteção contra patógenos, sintetizar fitohormônios, atuar na melhoria do aporte de nutrientes e induzir mudanças na fisiologia, garantindo melhorias nos processos de floração, germinação e estabelecimento das plantas (Azeem; Javed; Zahoor, 2023), bem como atuando na proteção contra estresse hídrico, auxiliando na manutenção de umidade no solo e no estímulo ao desenvolvimento radicular das plantas (Sousa et al., 2023).

Estudos têm sido realizados com tais bactérias visando superar as perdas devido ao déficit hídrico. Em condições tropicais brasileiras, Sousa et al. (2023) testaram experimentalmente o bioinsumo Auras® (*Bacillus aryabhatai* CMAA 1363), produto desenvolvido pela Embrapa em parceria com a empresa NOOA Tecnologia Agrícola, para mitigar os efeitos do déficit hídrico na cultura do milho encontrando resultados positivos.

Diante dos desafios climáticos, propõem-se avaliar na cultura do algodoeiro o efeito do tratamento de sementes com bioinsumo a base de *Bacillus aryabhatai* na germinação e no desenvolvimento inicial das plantas quanto a tolerância ao déficit hídrico.

2. Metodologia

Realizou-se uma pesquisa laboratorial de natureza quantitativa (Pereira et al., 2018; Risemberg et al., 2026) com uso de estatística descritiva com Gráficos de barras, classes de dados, valores de médias e valores de frequência relativa porcentual (Shitsuka et al., 2014) e com uso de análise estatística (Vieira, 2021; Costa Neto & Bekman, 2009).

O projeto foi dividido em duas fases, sendo as análises laboratoriais conduzidas no Laboratório de Análise de

Sementes, do Departamento de Fitotecnia e Fitossanidade, e o ensaio em casa de vegetação conduzido na Fazenda Escola, ambos pertencentes ao Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, Maranhão.

Fase 1: Avaliação da qualidade fisiológica das sementes

As sementes de diferentes cultivares de algodão foram inoculadas com várias doses de insumo biológico à base de *Bacillus aryabhattai*, sendo utilizado como fonte o produto comercial Auras® (*Bacillus aryabhattai* CMAA 1363). Para isso, foi instalado um ensaio fatorial 5 (doses de Auras®, 0, 2, 4, 6 e 8 mL Kg⁻¹ de semente) x 5 (cultivares de algodão, BRS 286, BRS 433 FL B2RF, BRS Rubi, BRS Jade e BRS Verde), em delineamento inteiramente casualizado, com 4 repetições. Para o tratamento das sementes, foi aplicado solução no volume de 1% em relação ao peso das sementes, sendo as mesmas agitadas por 5 minutos para uniformização do tratamento. Devido a contaminação das sementes por fungos, antes da inoculação elas foram desinfestadas com hipoclorito de sódio, a 1%, por 3 minutos.

Para avaliação da qualidade fisiológica das sementes foram realizados testes de germinação e testes de emergência em areia. O teste de germinação foi realizado com 4 repetições de 50 sementes, em rolos de papel de germiteste umedecido com água destilada com quantidade de 2,5 vezes a massa do papel seco e levadas ao germinador, onde foram mantidas a temperatura de 25°C, durante 12 dias (BRASIL, 2009), sendo os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais. Durante o ensaio, foi realizada a primeira contagem de germinação aos 4 dias e a segunda contagem aos 12 dias (BRASIL, 2009).

Para avaliação da emergência de plântulas, foram utilizadas 200 sementes (quatro repetições de 50 sementes). As sementes de cada repetição foram semeadas em caixas de areia, no padrão entre areia (1 cm de profundidade). Durante o ensaio, foi realizada a primeira contagem de emergência aos 4 dias e a contagem das plântulas normais emergidas efetuada ao décimo segundo dia após a data da semeadura. Os resultados foram expressos em porcentagem. Após a contagem da emergência, foram separadas 10 plântulas por repetição, das quais foram realizadas as medidas de comprimento da parte aérea e sistema radicular, e determinada a massa seca da parte aérea e sistema radicular.

Fase 2: Avaliação do desenvolvimento inicial e resposta ao déficit hídrico

Após serem analisados os parâmetros de qualidade fisiológica das sementes, foi selecionada a melhor cultivar de algodão do primeiro ensaio, que foi a BRS Jade, para avaliação do desenvolvimento inicial das plantas e a resposta ao déficit hídrico. O segundo ensaio foi instalado em casa de vegetação em esquema fatorial 5 (doses de Auras®, 0, 2, 4, 6 e 8 mL Kg⁻¹ de semente) x 2 (irrigação plena e com déficit hídrico) com delineamento em blocos ao acaso e 4 repetições, sendo utilizada a cultivar de algodão BRS Jade, com a semeadura realizada em vasos com capacidade de 8 litros, preenchidos com substrato formulado na proporção de 1:1:1 (latossolo: areia: substrato comercial), sendo semeadas 5 sementes/vaso, e após desbaste, cultivadas 2 plantas/vaso, conduzindo-se o experimento até 35 dias após a emergência (DAE).

A irrigação foi realizada com base no peso dos vasos, sendo repostada água a cada 3 dias, de modo a elevar a umidade do solo à capacidade de campo, que havia sido pré-determinada. Para os tratamentos com déficit hídrico, foi suprimida a irrigação por 7 dias, iniciando a supressão aos 20 DAE. A adubação de plantio foi realizada conforme recomendado para a cultura. Aos 35 DAE foram avaliados os seguintes parâmetros: altura da planta (cm) (régua milimetrada), massa fresca e seca da parte aérea (g) e massa seca do sistema radicular (g) pelo método da estufa a 60 °C por período de 72 horas e pesagem em balança analítica (Nakagawa, 1999).

As análises estatísticas foram realizadas ao nível de significância de 5% de probabilidade com o programa Sisvar (Ferreira, 2003).

3. Resultados e Discussão

A germinação e emergência das sementes de algodão de diferentes cultivares, tratadas com diferentes doses do bionsumo a base de *Bacillus aryabhattai* (Auras®) foram avaliadas, com o resultado da análise de variância apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Análise de variância para % de germinação, % de emergência, massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca do sistema radicular (MSSR), comprimento da parte aérea e comprimento do sistema radicular de cultivares de algodão tratadas com diferentes doses de *B. aryabhattai*.

Fonte de variação	GL	% Germinação	% Emergência	MSPA	MSSR	Comprimento da parte aérea	Comprimento do sistema radicular
		Pr>Fc					
Cultivar	4	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*	0,000*
<i>B. aryabhattai</i>	4	0,000*	0,078 ^{ns}	0,048*	0,000*	0,000*	0,000*
Cultivar x <i>B. aryabhattai</i>	16	0,000*	0,366 ^{ns}	0,784 ^{ns}	0,000*	0,000*	0,000*
Erro	75						
Total	99						

*Significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} Não significativo. Fonte: Autores.

De acordo com a análise de variância, verificou-se que houve diferença significativa entre as cultivares para todos os parâmetros avaliados, enquanto para o tratamento de sementes com *B. aryabhattai* (Auras®), para os parâmetros emergência em areia e massa seca da parte aéreas das plântulas não houve diferença significativa (Tabela 1). Para a interação entre os fatores, não houve significância para os parâmetros % emergência e massa seca da parte aérea. Após análise inicial dos desdobramentos dos fatores, decidiu-se trabalhar com os dados médios de cada fator isolado, visto que o desdobramento dos fatores (doses de *B. aryabhattai* (Auras®) x cultivares), apesar da interação significativa estatisticamente, não apresentou um comportamento elucidativo, e desta forma, não foi uma ferramenta útil para entendimento dos dados.

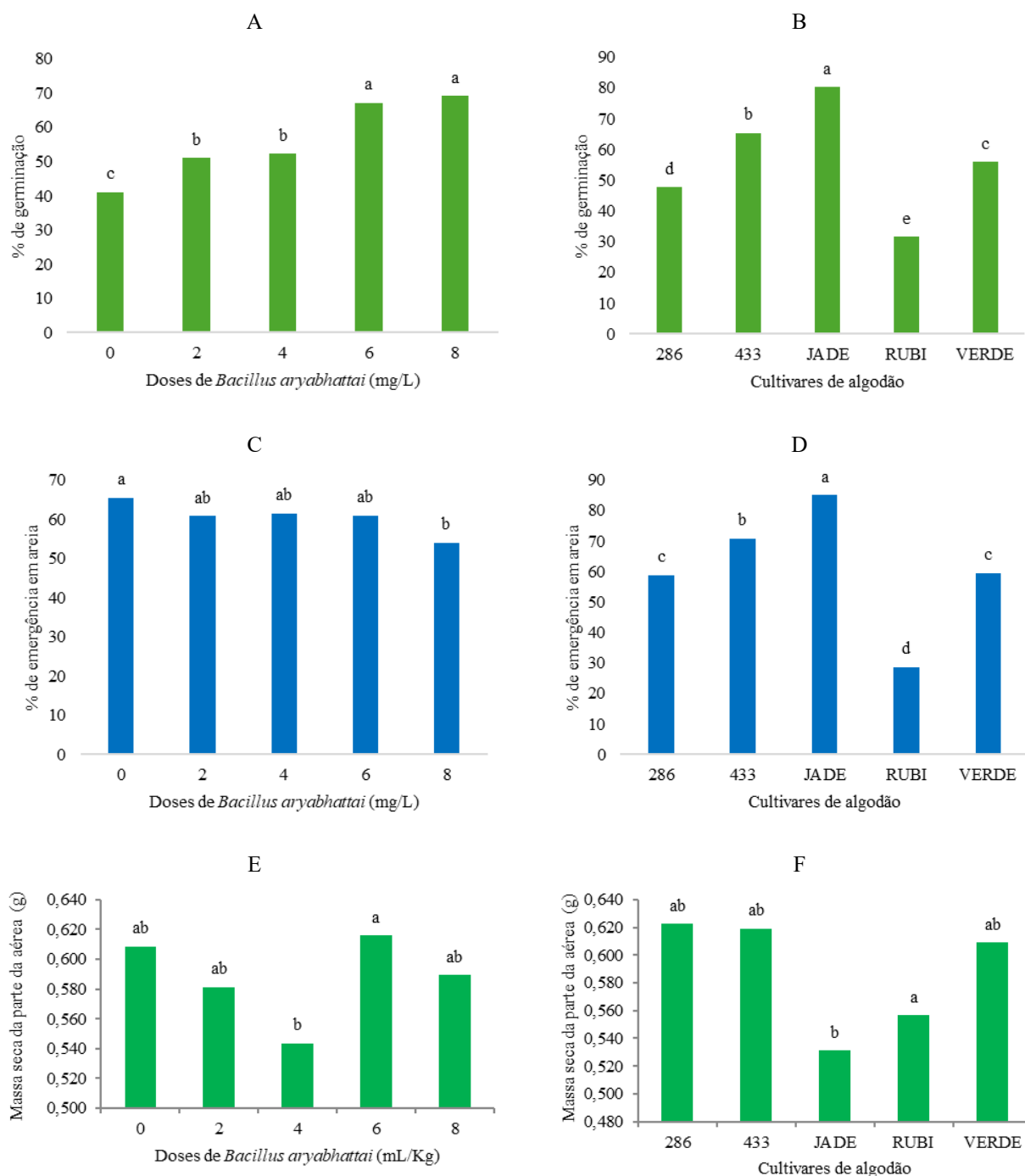
Com base nos testes de germinação em rolo de papel germiteste e emergência em areia (Figura 1 A, B, C e D), verificou-se que os melhores resultados foram obtidos com a cultivar BRS Jade, com germinação e emergência acima de 80%. Com relação ao tratamento com *Bacillus aryabhattai*, observa-se que no teste em rolo de papel os melhores resultados foram com as doses 6 e 8 mL kg⁻¹ de semente, enquanto para o teste em areia, apenas a dose de 8 mL kg⁻¹ de semente apresentou queda na germinação.

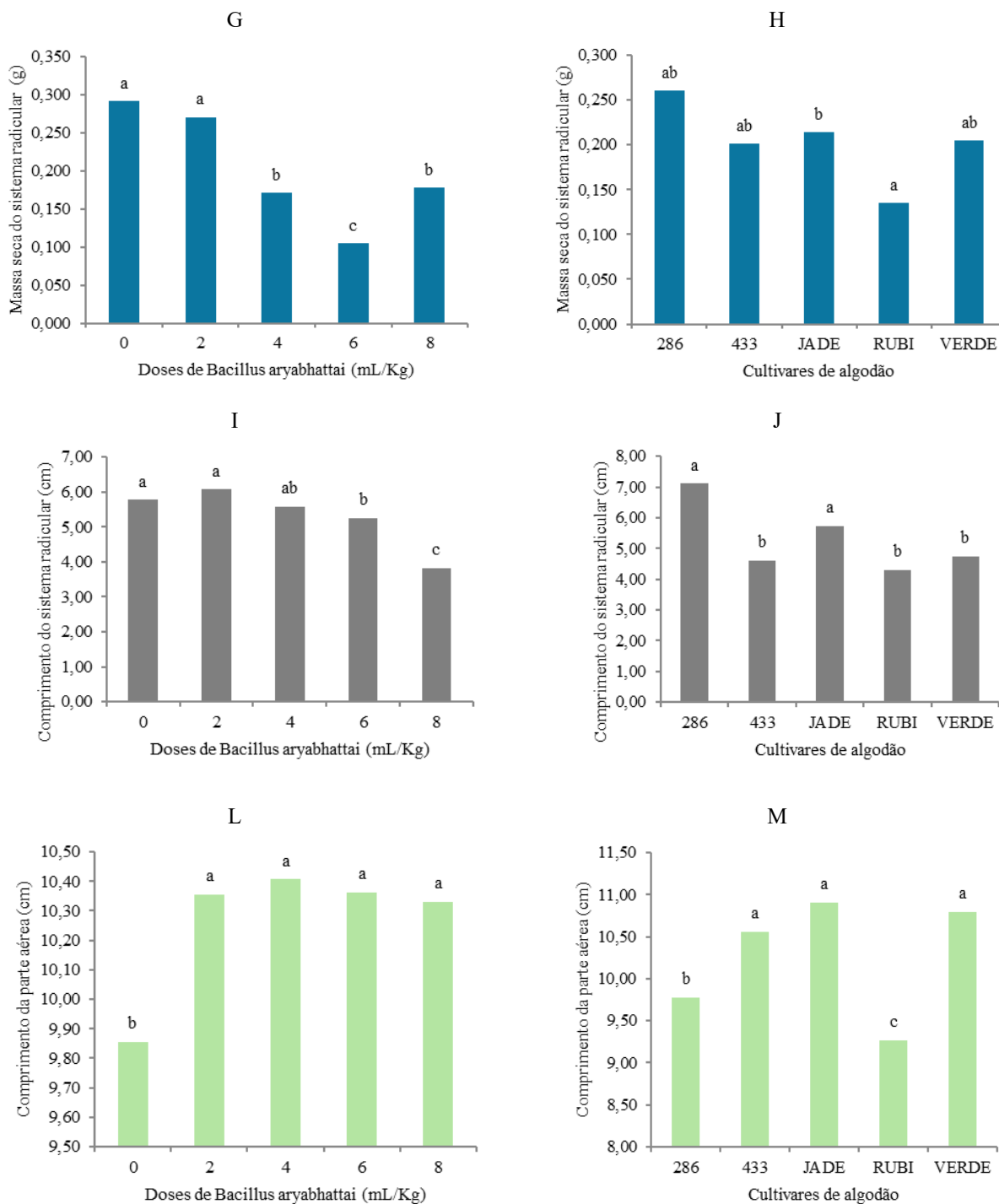
Com relação aos parâmetros de desenvolvimento inicial das plântulas (Figuras 1 F, H, J e M), observa-se que houve diferença significativa entre as cultivares, o que é esperado, pois cada cultivar tem seu padrão de desenvolvimento. Observou-se que entre as cultivares, apenas a massa seca da parte aérea das plântulas não apresentou diferença significativa. Para os demais parâmetros analisados, destacam-se as cultivares BRS Jade e BRS Verde, que apresentaram melhor desempenho para todos os parâmetros analisados.

Quando comparadas as doses de *B. aryabhattai* (Auras®), verifica-se que para o sistema radicular, os melhores resultados, se observado a massa seca e o comprimento do sistema radicular das plântulas (Figuras 1G e I), foram obtidos com a dose de 2 mL kg⁻¹, visto que os valores não diferenciam da testemunha, demonstrando que para a cultura do algodão, não existiu interação negativa para a cultura com essa dose. Para a cultura do milho, para o qual o produto é recomendado, a dose padrão é de 4 mL kg⁻¹ de semente, sendo que para a cultura do algodão, avaliando o sistema radicular das plântulas, a partir dessa dose, o efeito no sistema radicular das plântulas foi negativo. Estes resultados vão de encontro aos encontrados por Diaz et al. (2021), que em seus estudos, testando diferentes concentrações de *Bacillus* na cultura do algodoeiro, afirmaram com base em seus resultados que pequenas concentrações de inoculantes podem ser suficientes para aumentar o desenvolvimento do

algodoeiro, eliminando a necessidade de uso de elevadas doses ou concentrações dos bioinsumos. A capacidade de bioinsumos a base de bactérias promotoras de crescimento em promover o crescimento e aumentar a biomassa de plantas é bem conhecida e já foi relatada em muitas culturas de importância econômica. Estudos anteriores reportaram efeitos positivos no crescimento de cana-de-açúcar, milho e soja promovidos por espécies dos gêneros *Bacillus* e *Priestia* (Antunes et al., 2017; Breed et al., 2017).

Figura 1. Valores médios de % de germinação (A, B), % de emergência em areia (C, D), massa seca da parte aérea (E, F), massa seca do sistema radicular (G, H), comprimento do sistema radicular (I, J) e comprimento da parte aérea (L, M) de plântulas de diferentes cultivares de algodão tratadas com diferentes doses de *Bacillus aryabhattai*, em teste de emergência realizado em areia, aos 12 dias.





Médias com a mesma letra nas barras para a mesma dose de *Bacillus aryabhattai* não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.
Fonte: Autores.

Desta forma, de acordo com os resultados obtidos nesta fase do ensaio, foi selecionada a cultivar de algodão BRS Jade para ser utilizada no segundo ensaio do experimento, com ela sendo testada em condições de casa de vegetação com diferentes doses de *Bacillus aryabhattai* (Auras®).

O efeito de diferentes doses de *Bacillus aryabhattai* (Auras®) sobre o desenvolvimento inicial de plantas de algodoeiro da cultivar BRS Jade, irrigado e com déficit hídrico de 7 dias durante o desenvolvimento inicial foi avaliado. De acordo com a análise de variância, observa-se que todos os fatores avaliados foram influenciados pela disponibilidade de água, enquanto as

doses de *Bacillus aryabhatai* (Auras®) não tiveram influência nos fatores avaliados. Estes resultados corroboram com os encontrados por Diaz et al. (2021), que concluíram em seus estudos, que a inoculação de diferentes cepas e concentrações de *Bacillus* não afetaram o desenvolvimento do algodoeiro, sendo que na literatura existem poucos estudos conduzidos com a cultura do algodão inoculada com *Bacillus aryabhatai*. Com relação a interação entre os fatores, houve diferença significativa para os parâmetros altura de plantas e massa seca do sistema radicular (Tabela 2).

Tabela 2. Análise de variância para valores de altura de plantas, massa fresca e seca da parte aérea e massa seca do sistema radicular da cultivar de algodão BRS Jade tratada com diferentes doses de *Bacillus aryabhatai* CMAA 1363, com e sem déficit hídrico.

Fonte de variação	GL	Altura de plantas	MF parte aérea	MS Parte aérea	MS Sist radicular
		Pr>Fc			
<i>Bacillus aryabhatai</i>	4	0,1057 ^{ns}	0,3662 ^{ns}	0,6579 ^{ns}	0,2588 ^{ns}
Disponibilidade de água	1	0,0006*	0,0123*	0,0001*	0,0014*
Auras x Disponibilidade de água	4	0,0090*	0,0793 ^{ns}	0,2004 ^{ns}	0,0089*
Bloco	3	0,0197	0,0011	0,0046	0,0062
Erro	27				
Total	39				

*Significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} Não significativo. Fonte: Autores.

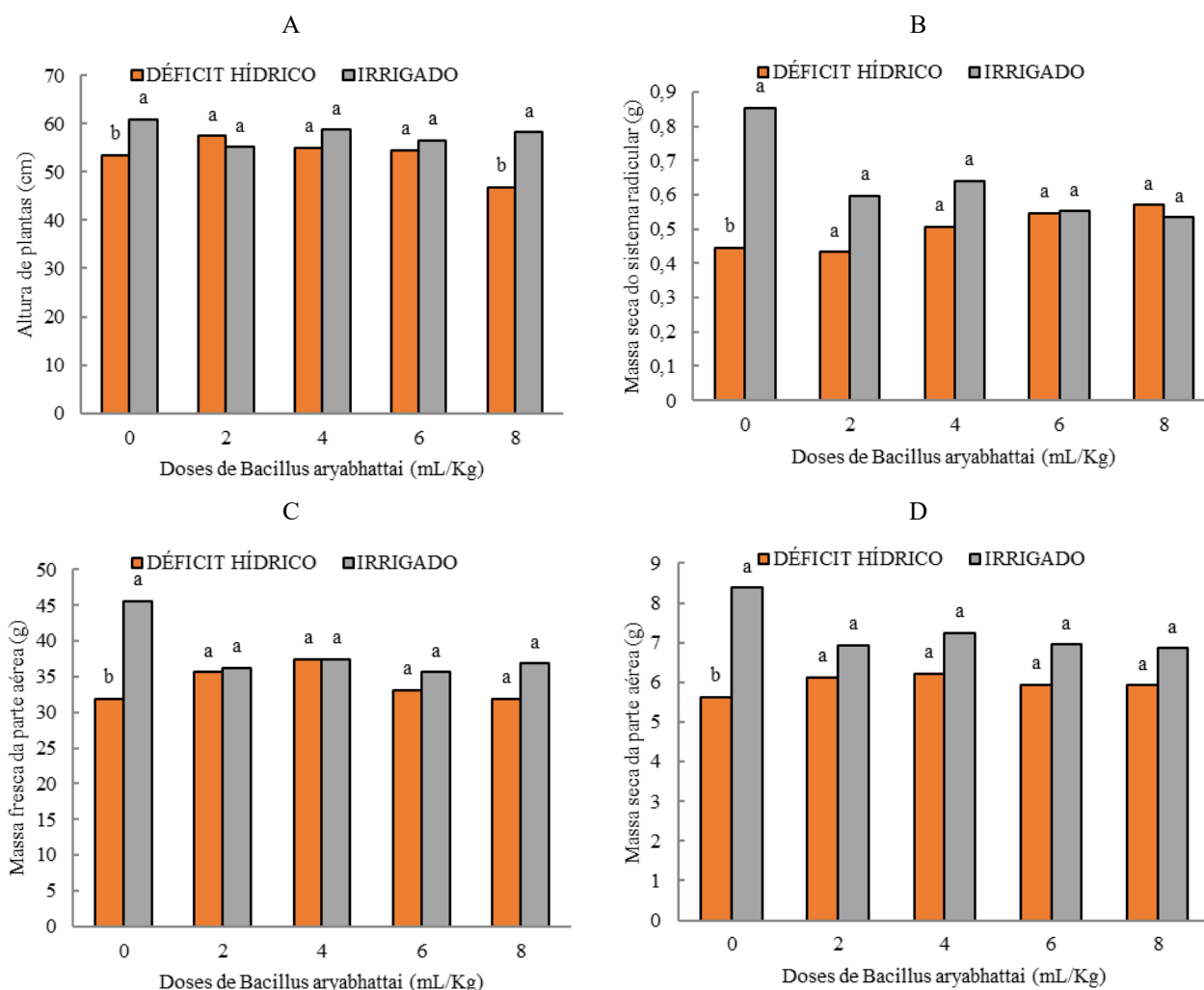
Como o objetivo do estudo foi avaliar o efeito do bioinsumo *B. aryabhatai* (Auras®) sobre a tolerância do algodoeiro ao déficit hídrico, optou-se por avaliar o desdobramento dos tratamentos de disponibilidade de água (irrigação plena e déficit hídrico) dentro de cada dose do bioinsumo (Figuras 2 A, B, C e D).

De acordo com os resultados apresentados, observa-se que os parâmetros altura de plantas, massa fresca e seca da parte aérea e massa seca do sistema radicular, foram afetados positivamente pelo bioinsumo *B. aryabhatai* (Auras®), independente da dose, visto que, de acordo com o teste de médias, para os parâmetros citados acima, sem o uso do bioinsumo, os parâmetros avaliados diferenciaram-se significativamente a nível de 5% de probabilidade, já com o uso do bioinsumo no tratamento de sementes, independente da dose utilizada, os parâmetros avaliados não diferiram entre si a nível de 5% de significância, quando comparados os tratamentos irrigação plena e com a aplicação de déficit hídrico por 7 dias durante o desenvolvimento inicial da cultura, demonstrando o efeito positivo do bioinsumo na maior tolerância ao déficit aplicado, visto que as plantas desenvolveram-se de forma equivalente as plantas com irrigação plena. Farias et al. (2024), avaliando o desenvolvimento inicial do algodoeiro inoculado com *B. aryabhatai*, concluíram que estas bactérias apresentam capacidade de beneficiar as plantas de algodão, melhorando vários parâmetros fisiológicos e morfológicos da cultura, propondo que estas bactérias possuem potencial para serem usadas como bioinsumo estimuladores de crescimento na cultura do algodoeiro. Segundo Creus et al. (2004), diversos microorganismos da filosfera, como *Bacillus* sp., produzem exopolissacarídeos que indiretamente melhoram a capacidade da planta absorver e reter água. Ainda, em adição, segundo Chinnadurai et al. (2009), esses microorganismos podem ser capazes de produzir fitormônios como auxinas, que auxiliam as plantas a ter maior tolerância sob situações de estresses abióticos. Kavamura et al. (2013) e Sousa et al. (2023) encontraram resultados semelhantes com uso de bioinsumo a base de *B. aryabhatai* CMAA 1363 (Auras®), para a cultura do milho, e May et al. (2021) encontrou resultados satisfatórios para o uso do bioinsumo na cultura da cana-de-açúcar.

Os resultados encontrados nesta pesquisa podem ser explicados, de forma geral, pelo fato de as raízes serem mais suscetíveis aos efeitos de bactérias promotoras de crescimento, porque, em condições reais de cultivo, o sistema radicular é colonizado, o que leva a um melhor desenvolvimento das raízes, e seus metabólitos influenciam diversos outros fatores

importantes para o crescimento e a produtividade das plantas (Bavaresco et al., 2020). Ainda, conforme Sousa et al. (2021), o aumento da biomassa radicular promovido por bactérias promotoras de crescimento ocorre principalmente devido ao aumento no número de pelos radiculares, os quais são extremamente importantes para a absorção de água e nutrientes, o que infere em maior resistência ao déficit hídrico.

Figura 2. Valores médios da altura de plantas (A), massa seca do sistema radicular (B), massa fresca (C) e seca (D) da parte aérea de plantas de algodão da cultivar BRS Jade, aos 35 DAE, tratadas com diferentes doses de Auras®, com irrigação total e com déficit hídrico de 7 dias (20 aos 27 DAE).



Médias com a mesma letra nas barras para a mesma dose de *Bacillus aryabhattai* não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Fonte: Autores.

4. Conclusão

O bioinsumo a base de *B. aryabhattai* (Auras®), apresentou bons resultados para o desenvolvimento de plântulas de algodoeiro, com a dose de 2 mL kg⁻¹ de sementes do produto Auras® apresentando o melhor resultado para o desenvolvimento do sistema radicular em testes de emergência em areia. O bioinsumo também apresentou bons resultados para o desenvolvimento inicial das plantas de algodoeiro submetidas ao déficit hídrico na fase inicial de desenvolvimento, com as plantas apresentando maior tolerância ao déficit hídrico, com base nos parâmetros de crescimento inicial avaliados. Desta forma, o bioinsumo a base de *B. aryabhattai* (Auras®), apresenta potencial para ser utilizado como bioestimulante de

crescimento e atenuante de déficit hídrico para a cultura do algodoeiro, porém, mais estudos devem ser realizados, visando a recomendação da melhor dose do bioinsumo para a cultura do algodão.

Referências

- Abrapa. (2025). Algodão no mundo. Associação Brasileira de Produtores de Algodão. <https://www.abrapa.com.br/Paginas/Dados/Algod%C3%A3o%20no%20Mundo.aspx>
- Antunes, J. E. L., et al. (2017). Diversity of plant growth-promoting bacteria associated with sugarcane. *Genetics and Molecular Research*, 16(2), gmr16029662. <https://doi.org/10.4238/gmr16029662>
- Bavaresco, L. G., et al. (2020). *Bacillus subtilis* can modulate the growth and root architecture in soybean through volatile organic compounds. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 32(2), 99–108. <https://doi.org/10.1007/s40626-020-00173-y>
- Bittencourt, P. P., et al. (2023). Mechanisms and applications of bacterial inoculants in plant drought stress tolerance. *Microorganisms*, 11(2), 502. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11020502>
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2009). Regras para análise de sementes. MAPA/ACS.
- Breedt, G., Labuschagne, N., & Coutinho, T. A. (2017). Seed treatment with selected plant growth-promoting rhizobacteria increases maize yield in the field. *Annals of Applied Biology*, 171(2), 229–236. <https://doi.org/10.1111/aab.12366>
- Chinnadurai, C., Balachandar, D., & Sundaram, S. P. (2009). Characterization of 1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase producing *Methylobacteria* from phyllosphere of rice and their role in ethylene regulation. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 25, 1403–1411. <https://doi.org/10.1007/s11274-009-0027-1>
- Compant, S., et al. (2005). Use of plant growth-promoting bacteria for biocontrol of plant diseases: Principles, mechanisms of action, and future prospects. *Applied and Environmental Microbiology*, 71(9), 4951–4959.
- Conab. (2023). Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2022/2023 (8º levantamento). <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>
- Costa Neto, P. L. O. & Bekman, O. R. (2009). *Análise estatística da decisão*. (2ed).
- Creus, C., Sueldo, R., & Barassi, C. (2004). Water relations and yield in *Azospirillum*-inoculated wheat exposed to drought in the field. *Canadian Journal of Botany*, 82, 273–281. <https://doi.org/10.1139/b03-119>
- Dhale, D., Chatte, S., & Jadhav, V. T. (2011). Response of bioinoculants on growth, yield and fiber quality of cotton under irrigation. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 2(2), 376–386.
- Díaz, M. A., et al. (2021). Effect of *Aspergillus* and *Bacillus* concentration on cotton growth promotion. *Frontiers in Microbiology*, 12, 737385. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.737385>
- Farias, E. S., et al. (2024). Biotechnological potential of growth-promoting bacteria in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) crop. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, 59, e1906.
- Ferreira, D. F. (2003). *Sisvar: Sistema de análise de variância* (Versão 4.6). Universidade Federal de Lavras. <http://www.dex.ufla.br/danielff/sisvar>
- Hayat, R., et al. (2010). Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion: A review. *Annals of Microbiology*, 60(4), 579–598.
- Jochum, M. D., et al. (2019). Bioprospecting plant growth-promoting rhizobacteria that mitigate drought stress in grasses. *Frontiers in Microbiology*, 10, 2106. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02106>
- Kavamura, V. N., et al. (2013). Screening of Brazilian cacti rhizobacteria for plant growth promotion under drought. *Microbiological Research*, 168(4), 183–191.
- Lin, Y., et al. (2020). Influence of plant growth-promoting rhizobacteria on corn growth under drought stress. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 51, 250–264. <https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1705329>
- Maguire, J. D. (1962). Speed of germination—Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, 2(2), 176–177.
- Malhi, G. S., Kaur, M., & Kaushik, P. (2021). Impact of climate change on agriculture and its mitigation strategies: A review. *Sustainability*, 13, 1318. <https://doi.org/10.3390/su13031318>
- May, A., et al. (2021). Effect of *Bacillus aryabhattai* on the initial establishment of pre-sprouted seedlings of sugarcane varieties. *Research, Society and Development*, 10(2), e11510212337. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i2.12337>
- Nakagawa, J. (1999). Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In F. C. Krzyzanowski, R. D. Vieira, & J. B. França Neto (Orgs.), *Vigor de sementes: Conceitos e testes* (pp. 36–59). ABRATES.
- Oliveira, A. A., et al. (2022). Nitrogen and forms of application of *Azospirillum brasilense* in corn cultivated in sandy soil. *Research, Society and Development*, 11(13), e56411335819. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i13.35819>

- Pereira, A. S. et al. (2018). Metodologia da pesquisa científica. (Free ebook). Santa Maria. Editora da UFSM.
- Porto, E. M. V., et al. (2022). Microrganismos promotores de crescimento de plantas como mitigadores do estresse hídrico em pastagens: Uma revisão narrativa. Research, Society and Development, 11(11), e514111134029. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i11.34029>
- Risemberg, R. I. C. et al. (2026). A importância da metodologia científica no desenvolvimento de artigos científicos. E-Acadêmica. 7(1), e0171675. <https://eacademica.org/eacademica/article/view/675>.
- Shahzad, R., et al. (2017). Plant growth-promoting endophytic bacteria versus pathogenic infections: An example of *Bacillus amyloliquefaciens* RWL-1 and *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* in tomato. PeerJ, 5, e3107. <https://doi.org/10.7717/peerj.3107>
- Sharath, S., et al. (2021). The role of phyllosphere bacteria in improving cotton growth and yield under drought conditions. Frontiers in Agronomy, 3, 1–11. <https://doi.org/10.3389/fagro.2021.680466>
- Sheng, X. (2005). Growth promotion and increased potassium uptake of cotton and rape by a potassium-releasing strain of *Bacillus edaphicus*. Soil Biology and Biochemistry, 37, 1918–1922.
- Shirinbayan, S., Khosravi, H., & Malakouti, M. J. (2019). Alleviation of drought stress in maize (*Zea mays*) by inoculation with *Azotobacter* strains isolated from semiarid regions. Applied Soil Ecology, 133, 138–145. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.09.009>
- Shitsuka, R. et al. (2014). Matemática fundamental para tecnologia. (2ed). Editora Érica.
- Sousa, H. C., et al. (2023). *Bacillus aryabhattai* mitigates the effects of salt and water stress on the agronomic performance of maize under an agroecological system. Preprints. <https://doi.org/10.20944/preprints202304.0165.v1>
- Sousa, S. M., et al. (2021). Tropical *Bacillus* strains inoculation enhances maize root surface area, dry weight, nutrient uptake and grain yield. Journal of Plant Growth Regulation, 40(2), 867–877. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10146-9>
- Vieira, S. (2021). Introdução à bioestatística. Editor GEN/Guanabara Koogan.
- Wu, Z., Yue, H., & Lu, J. (2012). Characterization of rhizobacterial strain Rs-2 with ACC deaminase activity and its performance in promoting cotton growth under salinity stress. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 28, 2383–2393.