

INOCULAÇÃO DE *Bacillus aryabhatai* PARA AMENIZAR O ESTRESSE SALINO EM PLÂNTULAS DE MILHO E AMENDOIM

INOCULATION OF BACILLUS ARYABHATAI TO MITIGATE SALINE STRESS IN MAIZE AND PEANUT SEEDLINGS.

MICHELE DOS SANTOS LEITE

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, UEMS, Aquidauana, MS, Brasil
Mestre em Agronomia. E-mail: santos.michele14@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-2404-0862>

FÁBIO STEINER

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, UEMS, Cassilândia, MS, Brasil
Doutor em Agronomia. E-mail: steiner@uems.br
<https://orcid.org/0000-0001-9091-1737>

FRANCISCO EDUARDO TORRES

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, UEMS, Aquidauana, MS, Brasil
Doutor em Agronomia. E-mail: feduardo@uems.br
<https://orcid.org/0000-0002-6114-0096>

JOSÉ CARLOS PINA

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, UEMS, Aquidauana, MS, Brasil
Doutor em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional. E-mail: josecarlospina@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-5414-9386>

Submissão: 07-05-2024 - Aceite 05-05-2026

RESUMO: Bactérias do gênero *Bacillus aryabhatai* reduzem os danos causados por estresse salino em cultivos agrícolas. As reduções de danos provenientes do estresse salino em plântulas de milho e amendoim foram avaliadas por meio da inoculação de *B. aryabhatai*. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da inoculação de *Bacillus aryabhatai* na tolerância à diferentes níveis de salinidade na água de irrigação em plântulas de milho (*Zea mays* L.) e amendoim (*Arachis hypogaea* L.). Sementes de milho e amendoim foram inoculadas com 20 mL kg⁻¹ *B. aryabhatai* e submetidas a quatro níveis de salinidade da água de irrigação: 0,0 MPa (controle); -0,1 MPa (estresse suave); -0,4 MPa (estresse moderado) e -0,8 MPa (estresse severo). Em plântulas inoculadas com *B. Aryabhatai*, os níveis de salinidade não interferiram na emergência das plântulas de milho; no entanto, o aumento do nível de estresse salino limitou a emergência das plântulas de amendoim. Os efeitos negativos da salinidade no crescimento das plântulas foram amenizados pela inoculação de *B. aryabhatai* independentemente do nível de estresse salino, todas as características das



plântulas de milho e amendoim foram capazes de atenuar os efeitos adversos da salinidade. A inoculação de *B. aryabhatai* foi capaz de induzir a resistência das plântulas de milho e amendoim ao estresse salino.

PALAVRAS-CHAVE: Bioinsumo; Indução de resistência; Rizobactérias.

ABSTRACT: Bacteria of the genus *Bacillus aryabhatai* reduce the damage caused by salt stress in agricultural crops. Reductions in damage caused by salt stress in maize (*Zea mays* L.) and peanut (*Arachis hypogaea* L.) plants were evaluated by inoculating *B. aryabhatai*. The objective of this study was to evaluate the effect of *Bacillus aryabhatai* inoculation on tolerance to different levels of salinity in irrigation water in maize and peanut seedlings. Maize and peanut seeds were inoculated with 20 mL kg⁻¹ *B. aryabhatai* and subjected to four levels of irrigation water salinity: 0.0 MPa (control); -0.1 MPa (mild stress); -0.4 MPa (moderate stress) and -0.8 MPa (severe stress). In seedlings inoculated with *B. aryabhatai*, salinity levels did not interfere with the emergence of maize seedlings; however, increasing saline stress levels limited the emergence of peanut seedlings. The negative effects of salinity on seedling growth were mitigated by the inoculation of *B. aryabhatai* regardless of the level of salt stress, all the characteristics of maize and groundnut seedlings were able to mitigate the adverse effects of salinity. Inoculation of *B. aryabhatai* was able to induce resistance of maize and groundnut seedlings to salt stress.

KEYWORDS: Bioinsumption; Resistance induction; Rhizobacteria.

Introdução

Durante seu ciclo de vida, as plantas enfrentam uma variedade de estresses ambientais. As plantas respondem a esses estresses de diversas formas, dependendo da natureza e das fontes específicas do estresse. O estresse salino está entre os principais fatores abióticos que reduzem drasticamente a produtividade das culturas agrícolas (Sabagh *et al.*, 2020). As culturas do milho (*Zea mays* L.) e do amendoim (*Arachis hypogaea*), são consideradas como moderadamente tolerantes ao estresse salino, com um limiar de salinidade do solo de 1,7 e 3,2 dS m⁻¹ para milho e amendoim, respectivamente. No entanto, em níveis elevados, a salinidade pode causar impactos diretamente na germinação e no crescimento destas culturas (Ghey *et al.*, 2016). Estudos indicam que aproximadamente 20-25% das áreas irrigadas globalmente sofrem com a salinização dos solos, sendo esse fenômeno ainda mais proeminente em regiões áridas e semiáridas, como o Nordeste brasileiro e o Pantanal (Hassan *et al.*, 2021; Khasanov *et al.*, 2023; STAV *et al.*, 2021). A intensificação desse processo nos últimos anos é atribuída ao uso inadequado de fertilizantes, manejo deficiente da irrigação e drenagem e à utilização de águas de irrigação salinas (Ghey *et al.*, 2016; Pessoa *et al.*, 2022).

Os impactos da salinização do solo representam uma das maiores ameaças para a agricultura, afetando as plantas de diversas maneiras, tanto diretamente quanto indiretamente. O estresse salino interfere no crescimento das plantas ao reduzir o potencial osmótico do solo, dificultando a absorção de água e nutrientes pelas raízes e retardando a taxa de germinação (Acosta-Motos *et al.*, 2017; Zuffo *et al.*, 2020). Além disso, provoca efeitos oxidativos devido ao acúmulo de íons fitotóxicos, resultando no aumento da produção de espécies reativas de

oxigênio, desequilíbrio iônico e danos às membranas celulares (Acosta-Motos et al., 2017; Zelm et al., 2020; Gong, 2021).

Bactérias promotoras do crescimento vegetal desempenham um papel essencial na tolerância à salinidade e no estímulo ao crescimento das plantas. Quando aplicadas nas fases iniciais das plântulas ou no tratamento de sementes, essas bactérias aumentam os níveis hormonais e nutricionais das plantas, regulam a osmose, transduzem sinais e sintetizam compostos orgânicos voláteis, promovendo o crescimento, especialmente do sistema radicular, e melhorando a capacidade de recuperação das plântulas diante do estresse salino (Numan et al., 2018; Sarkar et al., 2018; Ayaz et al., 2022).

Dentre as bactérias com potencial para atenuar os efeitos adversos do estresse salino, o gênero *Bacillus* se destaca como um dos mais estudados para a inoculação em diversas espécies vegetais (Liu et al., 2017; Ferreira et al., 2018; Ansari et al., 2019; Ibarra-Villarreal et al., 2021; Ayaz et al., 2022). Em particular, a espécie *B. aryabhatai* desperta interesse devido ao seu potencial para promover benefícios no metabolismo fisiológico e nutricional das plantas (Melo, 2018). No entanto, os efeitos específicos da inoculação de *B. aryabhatai* na indução da tolerância das plantas à salinidade ainda são pouco compreendidos (Kavamura et al., 2012).

Diante desse contexto, este estudo teve como objetivo avaliar o efeito da inoculação de *Bacillus aryabhatai* na indução da tolerância de plântulas de milho (*Zea mays* L.) e amendoim (*Arachis hypogaea* L.) expostas a diferentes níveis de salinidade na água de irrigação.

Metodologia

Localização

Dois bioensaios foram conduzidos no Laboratório de Ecofisiologia Vegetal, da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), em Cassilândia, MS (19°05'30" S; 51°48'55" W e altitude média de 510 m) para investigar os efeitos da inoculação de *Bacillus aryabhatai* e do estresse salino nas culturas do milho (Bioensaio 1) e do amendoim (Bioensaio 2). Os bioensaios foram conduzidos durante os meses de outubro e novembro de 2023. As condições ambientais durante a condução dos ensaios experimentais foram monitoradas diariamente por meio de um Datalogger digital portátil ITLOG-80 (Instrutemp Instrumentos de Medição Ltda, São Paulo, SP, BRA) instalado no interior do laboratório. A temperatura média do ar foi de 25,2 °C, com temperaturas mínima e máxima de 21,8 °C e 29,4 °C, respectivamente. A umidade relativa do ar variou de 62% a 74%.

Material vegetal e tratamentos

Sementes de milho (*Zea mays* L., híbrido 20A38 VIP3) e de amendoim (*Arachis hypogaea* L., cv. RUNNER IAC 886) foram adquiridas no comércio local de sementes do município de Cassilândia, MS. Inicialmente, foram determinados o teor de água, massa de mil sementes e a taxa de germinação das sementes (Tabela 1).

Tabela 1 - Teor de água, massa de mil sementes e taxa de germinação das sementes das cultivares de milho e amendoim utilizadas neste estudo.

Cultura	Cultivar	Teor de água (%)	Peso de mil sementes (g)	Germinação (%)
Milho	20A38 VIP3	11,70	250	100
Amendoim	RUNNER IAC 886	6,30	780	92

As sementes foram previamente desinfectadas, por imersão durante 5 minutos, em solução de hipoclorito de sódio à 2% (v/v). Em seguida, procedeu-se à lavagem em água corrente e, então, as sementes foram secas em ambiente de laboratório (à sombra) por 48 h e utilizadas neste estudo.

Para avaliar o efeito da inoculação de *B. aryabhattai* na indução da tolerância das plantas à salinidade, as sementes de milho e de amendoim foram expostas as soluções com potencial osmótico de 0,0; -0,10; -0,40 e -0,80 MPa preparadas com cloreto de sódio (NaCl) P.A. (Puro para Análise). A quantidade de NaCl adicionada para obter as soluções salinas com os distintos níveis de potencial osmótico foi calculada com base na Equação 1 de van't Hoff proposta por Hillel (1971):

$$\Psi_s = -RTCi \quad [\text{Eq. 1}]$$

sendo que, Ψ_s é o potencial osmótico da solução (MPa); R é a constante universal dos gases nobres (0,008314 MPa mol⁻¹ K⁻¹); T é a temperatura absoluta (273,15 + °C); C é a concentração molar do soluto (mol L⁻¹); e i é o fator de van't Hoff, ou seja, a razão entre a quantidade de partículas na solução e a quantidade de íons dissolvidos [isto é, para NaCl este valor é 2,0 (Na⁺ e Cl⁻)]. As quantidades de NaCl adicionadas nas soluções salinas utilizadas neste estudo são mostradas na Tabela 2. Como tratamento controle (sem estresse) foi utilizado água destilada com potencial osmótico $\Psi_s = 0,0$ MPa.

Tabela 2 - Concentração de NaCl adicionada às soluções salinas referente aos distintos níveis de estresse salino testados no estudo.

Nível de NaCl		Potencial osmótico ¹ (MPa)	Condutividade elétrica da solução ² (dS m ⁻¹)	Nível de estresse salino
g L ⁻¹	mmol L ⁻¹			
0	0	0	0	Controle (sem estresse)
1,178	20,16	2,43	-0,10	Estresse suave
4,714	80,67	7,46	-0,40	Estresse moderado
9,430	161,36	14,17	-0,80	Estresse severo

¹ Calculado com base na equação de van't Hoff: $\Psi_s = -RTCi$ (HILLEL, 1971). ² Calculado pela seguinte equação: CE (dS m⁻¹) = 0,7604 + 0,0831 × [mmol L⁻¹ de NaCl], elaborada com base nos dados de condutividade elétrica (CE) de soluções puras à 20-25 °C

Fonte: Weast (1975).

Os dois bioensaios foram dispostos no delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema fatorial 2×4 com quatro repetições de 60 sementes. Os tratamentos foram constituídos pelo uso de sementes inoculadas ou não inoculadas com 20 mL kg⁻¹ de inoculante contendo *aryabhatai* e por quatro níveis de salinidade da água de irrigação [0,0 MPa (controle); -0,1 MPa (estresse salino suave); -0,4 MPa (estresse salino moderado) e -0,8 MPa (estresse salino severo)].

A inoculação das sementes com *B. aryabhatai* foi realizada com a utilização do inoculante comercial líquido Acta Ary® (Acta Bio, Jaboticabal, São Paulo). A dose de inoculante utilizada neste estudo (20 mL kg⁻¹ de semente) foi definida com base em um ensaio preliminar, o qual teve a finalidade de testar as aplicações das doses de 0, 10, 20, 30 e 40 mL kg⁻¹ do inoculante Acta Ary® no tratamento das sementes de milho. Os resultados do ensaio preliminar evidenciou que a dose ideal de inoculante a ser aplicada sobre as sementes de milho é de 20 mL kg⁻¹.

Instalação e condução dos bioensaios

Foi realizada quatro repetições com 60 sementes, as sementes foram semeadas em caixas de plástico (42 × 28 × 6 cm) contendo areia grossa lavada, na profundidade de 2,0 cm (Figura 1). Após a semeadura, o substrato de germinação foi umedecido com água destilada para o tratamento controle e com as soluções salinas contendo os diferentes níveis de estresse salino para o restante dos tratamentos até próximo da capacidade de retenção de água. Em seguida, as caixas plásticas foram mantidas em condições de laboratório por 15 dias (Figura 2). A temperatura durante a condução dos ensaios experimentais variou de 21,8 °C a 29,4 °C, com valor médio de 25,2 °C.

Figura 1 - Bandejas plásticas preenchidas com areia grossa lavada (à esquerda), abertura dos sulcos de 2,0 cm de profundidade (no centro) e distribuição das 60 sementes de milho nos sulcos de semeadura (à direita). UEMS/Aquidauana, 2024

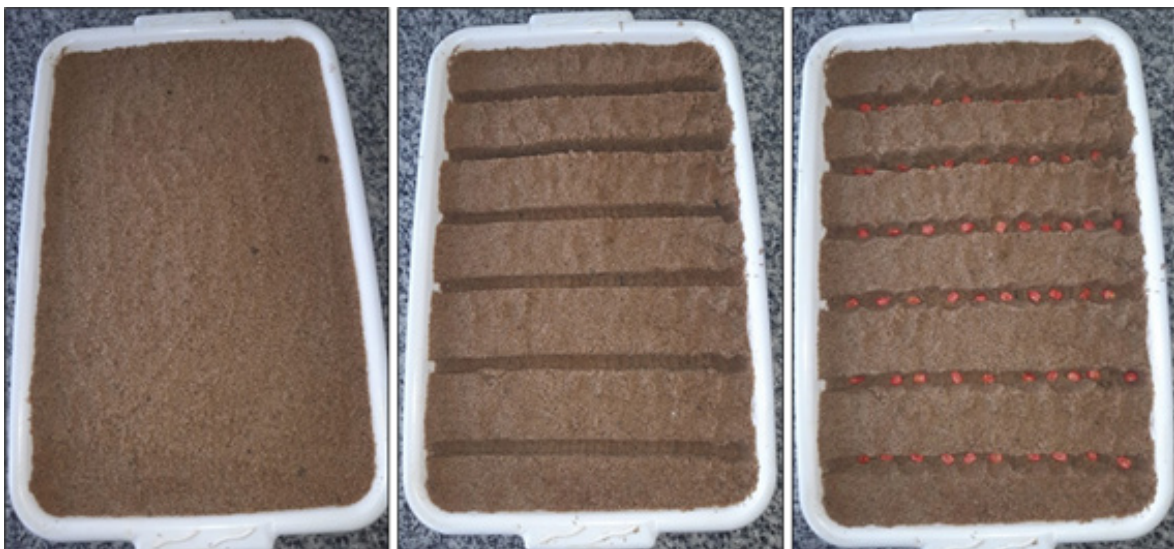


Figura 2 - Disposição das bandejas em condições de laboratório aos 8 dias (à esquerda) e aos 15 dias após a semeadura (à direita) do milho (*Zea mays* L.). UEMS/Aquidauana, 2024



Mensuração da emergência e do crescimento inicial das plântulas

A emergência das plântulas de milho e de amendoim foi avaliada diariamente, e, com os valores contabilizados, foram calculados o índice de velocidade de emergência (IVE) e o tempo médio de emergência (TME).

O índice de velocidade de emergência foi calculado conforme a Equação 2 proposta por Maguire (1962):

$$\text{IVE} = (P_1/N_1) + (P_2/N_2) + (P_3/N_3) + \dots + (P_N/N_N) \quad [\text{Eq. 2}]$$

sendo que, IVE é o índice de velocidade de emergência (plântulas por dia); P_1 , P_2 , P_3 , ..., P_N é o número de plântulas contabilizadas na primeira, segunda, terceira e última contagem; e, N_1 , N_2 , N_3 , ..., N_N é o número de dias da semeadura à primeira, segunda, terceira e última contagem.

O tempo médio de emergência das plântulas foi calculado por meio da Equação 3 como proposto por Labouriau (1983):

$$\text{TME} = \Sigma (N_i T_i) / \Sigma n_i \quad [\text{Eq. 3}]$$

sendo que, TME é o tempo médio de emergência (dias); N_i é o número de plântulas computadas em cada contagem; e, T_i é o tempo decorrido entre o início da emergência e a i -ésima contagem.

Aos 15 dias após a semeadura, 10 plântulas por repetição foram escolhidas aleatoriamente para a mensuração do comprimento e da matéria seca da parte aérea e das raízes (Figura 3).

Figura 3 - Subamostras contendo 10 plântulas de milho para a mensuração do comprimento da parte aérea e das raízes (à esquerda) e separação da parte aérea e do sistema radicular das plântulas de milho (à direita) para armazenamento em sacos de papel identificados. UEMS/Aquidauana, 2024



O comprimento da parte aérea (CPA) e das raízes (CR) foram determinados com auxílio de uma régua graduada em milímetros. A massa seca da parte aérea (MSPA) e das raízes (MSR) foi determinada em balança analítica (precisão de $\pm 0,0001$ g) após secagem do material vegetal em estufa com circulação forçada de ar à 85 °C, por 48 h (Figura 4).

Figura 4 - Material vegetal acondicionado em sacos de papel no interior da estufa de secagem com circulação forçada de ar à 85 °C por 2 dias (à esquerda) e determinação da massa de matéria seca da parte aérea (no centro) e das raízes (à direita) das plântulas de milho. UEMS/Aquidauana, 2024



A partir dos dados de emergência, comprimento total e matéria seca total das plântulas foram calculados os índices de vigor de plântula em condições não estressante (controle) e estressantes (níveis de estresse salino). O índice de vigor de comprimento de plântula (IVC) e o índice de vigor de matéria seca de plântula (IVMS) foram calculados utilizando-se as Equações 4 e 5 propostas por Abdul-Baki e Anderson (1973):

$$\text{IVC} = \text{Comprimento total da plântula (m)} \times \text{Emergência (\%)} \quad [\text{Eq. 4}]$$

$$\text{IVMS} = \text{Matéria seca total da plântula (g)} \times \text{Emergência (\%)} \quad [\text{Eq. 5}]$$

Aos 15 dias após a semeadura também foi determinado o teor relativo de água (TRA) das plântulas. O teor relativo de água foi calculado com base na pesagem da matéria fresca (MF) e da matéria seca (MS) de cinco plântulas escolhidas aleatoriamente por repetição, de acordo com a metodologia de Weatherley (1950), utilizando-se a Equação 6:

$$\text{TRA} = [(MF - MS) / MF] \times 100 [\text{Eq. 6}]$$

Delineamento

Os dados foram previamente testados para verificação das hipóteses estatísticas de homoscedasticidade das variâncias (Teste de Levene; $p < 0,05$) e de normalidade dos resíduos (teste de Shapiro-Wilk; $p < 0,05$) por meio do software estatístico Action Stat Pro[®] versão 4.0 para Windows (Estatcamp – Consultoria Estatística e Qualidade, Campinas, SP). Em seguida, os dados foram submetidos à análise de variância seguindo o delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 2×4 , aplicando-se o teste F de Fisher-Snedecor ao nível de 5% de probabilidade. As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o software estatístico Sisvar[®] versão 5.6 para Windows (Ferreira, 2019). Os gráficos foram elaborados por meio do pacote estatístico do Microsoft Office Excel[®] 2022 (Microsoft Office 365TM).

Resultados e discussões

No bioensaio 1, através da análise de variância foi possível verificar que os efeitos da inoculação de *B. aryabhattai* e dos níveis de estresse salino foram significativos ($p < 0,05$) para a maioria das características de crescimento inicial e vigor das plântulas de milho, exceto para a emergência das plântulas (Tabela 3). No bioensaio 2, os resultados da análise de variância mostraram que os efeitos isolados e da interação entre a inoculação de *B. aryabhattai* e os níveis de estresse salino foram significativos ($p < 0,05$) para todas às características de emergência, crescimento inicial e vigor das plântulas de amendoim (Tabela 3).

Tabela 3 - Resumo da análise de variância para os efeitos da inoculação de *Bacillus aryabhattai* e dos níveis de salinidade da água de irrigação nas características de emergência, crescimento e vigor das plântulas de milho e amendoim. UEMS/Aquidauana, 2024

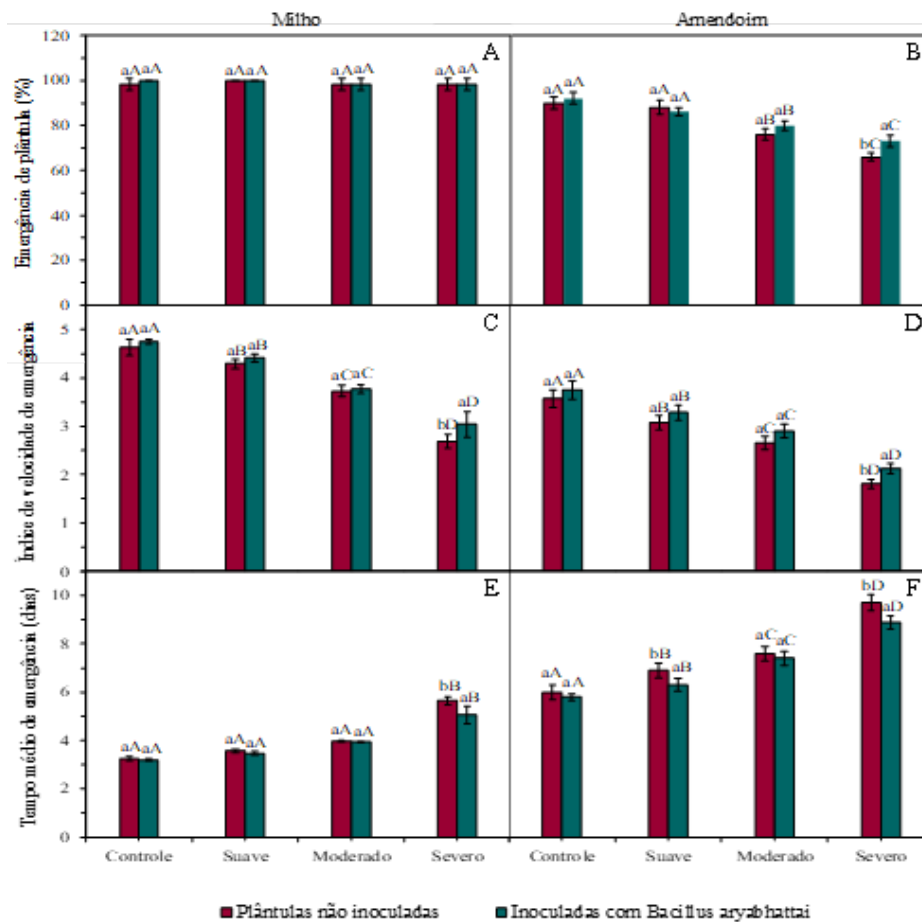
Causas de variação	Probabilidade F											
	E	IVE	TME	CPA	CR	CT	MSPA	MSR	MST	TRA	IVC	IVMS
Bioensaio 1 (Milho)												
Inoculação (I)	0,25	0,08	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,01
Salinidade (S)	0,12	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02
I × S	0,32	0,04	0,01	0,04	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01
CV (%)	4,78	5,34	4,78	8,95	7,56	6,92	8,39	7,64	9,21	8,63	6,71	7,47
Bioensaio 2 (Amendoim)												
Inoculação (I)	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Salinidade (S)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
I × S	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,04	0,01	0,03	0,04
CV (%)	7,53	9,03	8,57	4,35	5,59	4,02	9,14	8,17	6,48	7,91	8,85	9,86

E: emergência de plântula; IVE: índice de velocidade de emergência; TME: tempo médio de emergência; CPA: comprimento da parte aérea; CR: comprimento das raízes; CT: comprimento total da plântula; MSPA: matéria seca da parte aérea; MSR: matéria seca das raízes; MST: matéria seca total da plântula; TRA: Teor relativo de água da plântula; IVC: índice de vigor de comprimento de plântula; IVMS: índice de vigor de matéria seca de plântula.

Os valores do coeficiente de variação (CV) obtidos nos dois ensaios experimentais foram inferiores a 10% para todas as variáveis avaliadas nas plântulas de milho e amendoim, valor considerado baixo para experimentos agrícolas (Tabela 3). Segundo Gomes (2000), o CV é uma medida de dispersão utilizada para estimar a precisão do experimento, e quando os valores são inferiores à 10% indica que os resultados do ensaio experimental têm ótima precisão.

A inoculação de *B. aryabhattai* e os níveis de estresse salino não causaram impacto na emergência das plântulas de milho (Figura 5A). No entanto, quando as sementes de amendoim foram submetidas ao estresse salino moderado e severo, a porcentagem de emergência das plântulas foi significativamente menor em comparação ao controle e estresse salino suave. Por outro lado, sob condições de estresse salino severo a emergência das plântulas de amendoim foi maior com a inoculação de *B. aryabhattai* (Figura 5B).

Figura 5 - Efeito dos níveis de estresse salino da água de irrigação na porcentagem de emergência (A e B), índice de velocidade de emergência (C e D) e tempo médio de emergência (E e F) das plântulas de milho (A, C, E) e de amendoim (B, D, F) não inoculadas e inoculadas com *B. aryabhattai*. Barras seguidas por letras distintas, minúsculas para a inoculação ou não de *B. aryabhattai* ou letras maiúsculas para os níveis de estresse salino mostram diferenças significativas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Os dados referem-se aos valores médios ($n = 40$) \pm erro padrão da média. UEMS/Aquidauana, 2024



Esses resultados indicam que durante a germinação sob estresse salino, as sementes de amendoim requerem uma absorção maior de água em comparação com as sementes de milho. Isso ocorre devido ao acúmulo de solutos solúveis ao redor das sementes, resultando em um aumento na pressão osmótica (Iqbal et al., 2020). Essa condição leva à absorção excessiva de íons, causando toxicidade iônica na planta e, conseqüentemente, reduzindo o gradiente de potencial hídrico entre o ambiente externo e a semente. Esse processo, por sua vez, inibe a emergência da raiz primária (Yan et al., 2020).

Nota-se que com o aumento do nível de estresse salino, houve uma redução no índice de velocidade de emergência (IVE) em plântulas de milho (Figura 5C) e amendoim (Figura 5D). No entanto, sob estresse salino severo, as plântulas inoculadas com *B. aryabhattai* apresentaram maior valor do IVE em comparação as plântulas não inoculadas.

Os efeitos da inoculação de *B. aryabhattai* em sementes de plantas incluem a produção de osmólitos compatíveis, como a betaína, que auxilia a planta em condições de estresse (Teixeira et al., 2017; Kumar et al., 2016). Além disso, a inoculação promove a formação de biofilme (Qurashi et al., 2012), criando um microambiente hidratado ao redor da raiz, o que retém água

por mais tempo e a torna disponível para a planta (Barbosa *et al.*, 2021). Resultados obtidos por Abdallah *et al.* (2016) e Jasim *et al.* (2015) demonstraram que a inoculação com bactérias do gênero *Bacillus* sp. foi capaz de estimular o crescimento de tomate e plantas medicinais. Em uma pesquisa sobre a tolerância de plântulas de tomate ao estresse salino, Oliveira *et al.* (2022) observaram uma redução significativa no Índice de Velocidade de Emergência (IVE) e na porcentagem de emergência de plântulas de tomateiro à medida que a salinidade da água de irrigação aumentava. Foi observado maior tempo médio de emergência (TME) das plântulas de milho sob estresse salino severo independente do efeito da inoculação. A inoculação de *B. aryabhatai* proporcionou maior TME em comparação ao não inoculado (Figura 5E). É possível verificar que o maior TME das plântulas de amendoim foi sob o nível de estresse salino severo. Entretanto a partir da inoculação de *B. aryabhatai* houve a redução do TME sob os estresses suave e severo (Figura 5F) para o amendoim. Isso indica que a inoculação de *B. aryabhatai* apresenta efeito benéfico frente ao estresse salino, atenuando os efeitos adversos da salinidade e favorecendo o processo germinativo.

O uso de bactérias promotoras do crescimento de plantas tem contribuído para combater os efeitos negativos de fatores abióticos (Alor *et al.*, 2017). A tolerância ao estresse salino em diversas culturas pode ser aumentada por bactérias do gênero *Bacillus* sp. (Paul *et al.*, 2014). Pesquisadores relatam que o uso de bactérias do gênero *Bacillus* atuam em múltiplos mecanismos nas plantas como a fixação biológica de nitrogênio (Teixeira *et al.*, 2019; Galindo *et al.*, 2020), no aumento a disponibilidade de ferro (Sivasakth *et al.*, 2014), na solubilização e transporte de fósforo e zinco (Jalal *et al.*, 2022; Rosa *et al.*, 2022). Além de melhorarem o crescimento e desenvolvimento das plantas através da produção de hormônios vegetais como giberelinas, citocinina, auxinas e ácido salicílico (Vejan *et al.*, 2016; Zaheer *et al.*, 2019).

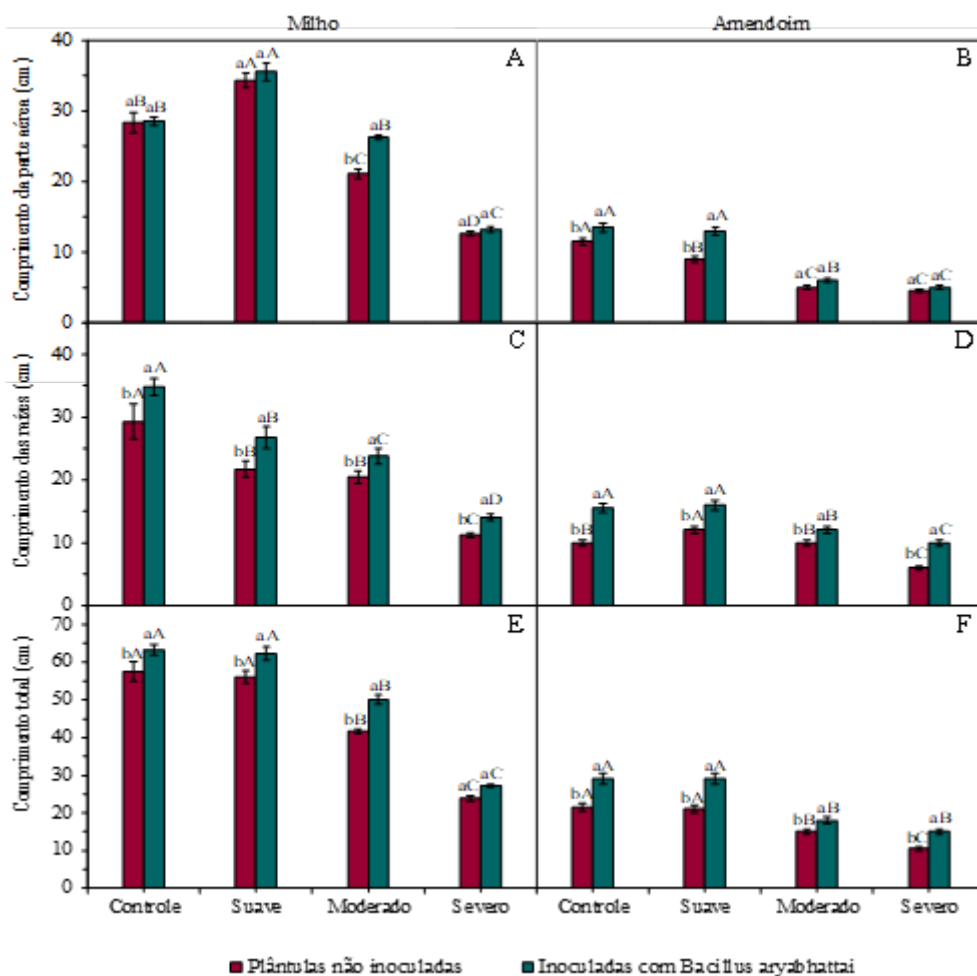
Ao analisar a salinidade, foi possível constatar que o estresse salino suave resultou no maior comprimento da parte aérea das plântulas de milho (Figura 6A), sem evidenciar diferenças entre plântulas inoculadas e não inoculadas. No entanto, nota-se efeito positivo da inoculação de *B. aryabhatai* sob o comprimento da parte aérea do amendoim (Figura 6B), visto que o estresse salino suave não diferiu do tratamento controle. Plantas inoculadas com *Bacillus* sp. demonstraram a capacidade de mitigar os efeitos causados por estresses abióticos. De acordo com Kavamura *et al.* (2013), as plantas inoculadas com *Bacillus* sp. apresentaram altura de 27% superior em comparação com as plantas não inoculadas.

É possível destacar que o maior comprimento das raízes foi observado em plântulas inoculadas com *B. aryabhatai* em todos os níveis de estresse salino. No entanto, à medida que os níveis de salinidade aumentaram, o comprimento das raízes diminuiu (Figuras 6C e 6E). O efeito da inoculação de *B. aryabhatai* e dos níveis de estresse salino apresentaram comportamento semelhantes, não apresentando diferenças estatísticas entre o controle e o nível suave de estresse salino. Contudo, as plântulas de amendoim inoculadas com *B. aryabhatai* apresentaram maior comprimento das raízes em relação as não inoculadas. (Figuras 6D e 6F).

Lee *et al.* (2017) relataram que a cepa de *B. aryabhatai* SR02 promoveu significativamente o crescimento de soja e arroz. Estes pesquisadores constataram através da microscopia eletrônica que o SR02 colonizou as raízes das plantas de soja em 2 dias após a inoculação. A rápida colonização radicular pode ser explicada pela resposta da cepa SR02 aos exsudatos das raízes da soja, além de produzir ABA e GA o SR02 também aumentou significativamente os níveis desses

hormônios vegetais em plantas de soja. Yuan et al. (2015) contataram que a cepa NJN-6 de *B. amiloliquefaciens* responde aos ácidos orgânicos dos exsudatos das raízes da banana.

Figura 6 - Efeito dos níveis de estresse salino da água de irrigação no comprimento da parte aérea (A e B), comprimento das raízes (C e D) e comprimento total (E e F) das plântulas de milho (A, C, E) e de amendoim (B, D, F) não inoculadas e inoculadas com *B. aryabhattai*. Barras seguidas por letras distintas, minúsculas para a inoculação ou não de *B. aryabhattai* ou letras maiúsculas para os níveis de estresse salino mostram diferenças significativas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Os dados referem-se aos valores médios ($n = 40$) \pm erro padrão da média. UEMS/Aquidauana, 2024



A promoção de crescimento mediada por BPCPs geralmente é associada ao aumento da produção de fitohormônios relacionados ao crescimento, como auxina ABA, citocinina, GA entre outros. Embora seja aceito que estes fitohormônios produzidos por bactérias promotoras do crescimento de plantas, estes podem não ter qualquer importância para elas, no entanto são produzidas por elas como metabolitos secundários, a fim de estabelecer uma melhor associação com suas plantas hospedeiras.

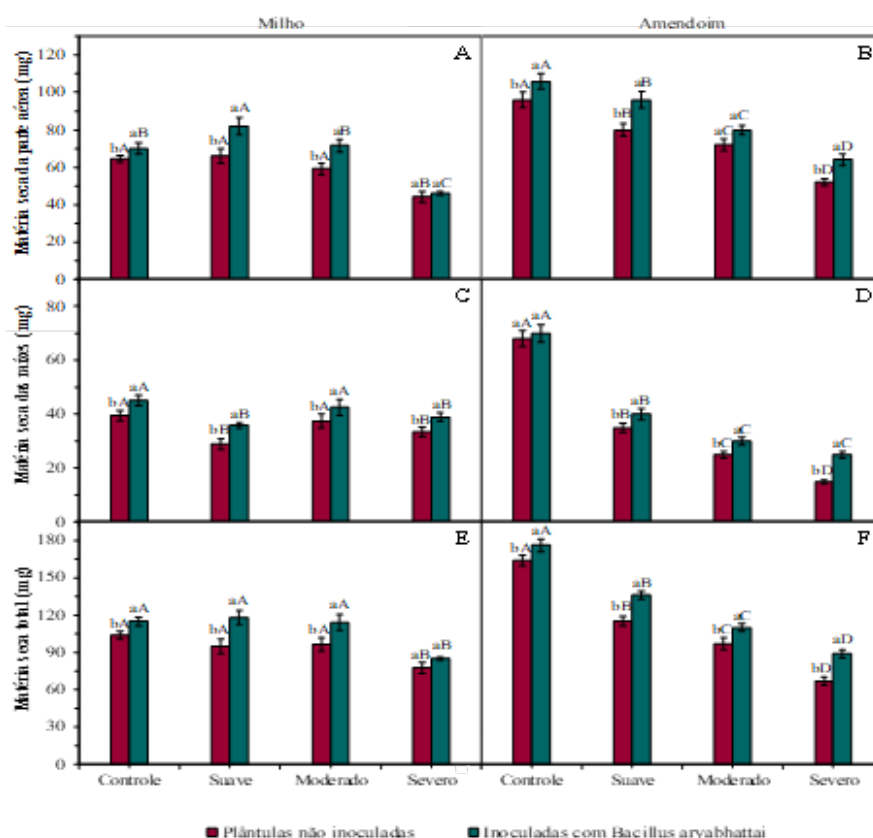
Resultados semelhantes foram relatados por Maio et al. (2019), os quais mostraram que a presença de *B. aryabhattai* foi capaz de estimular o crescimento radicular e promover maior eficiência no uso da água disponível no solo. Metoui et al. (2020) constataram que a inoculação com *B. mojavensis* e *B. pumilus* foi capaz de promover o crescimento das raízes, a absorção de água e nutrientes em plantas de cevada sob estresse salino. Islam et al. (2022) indicam que o

estresse salino, quando induzido pela irrigação, limita a absorção de água pelas plantas devido aos efeitos osmóticos e fisiológicos, além de provocar alterações bioquímicas que reduzem a eficiência do uso de água.

A maior produção de matéria seca da parte aérea das plântulas de milho foi obtido para as plântulas inoculadas com *B. aryabhatai*, quando submetidas ao estresse salino suave (Figura 7A). No entanto, as plântulas não inoculadas, não manifestaram diferenças significativas nos níveis suave e moderado de estresse salino, não divergindo do tratamento controle. Quanto a matéria seca da parte aérea do amendoim, à medida que os níveis de salinidade foram aumentando, a matéria seca diminuiu (Figura 7B). Contudo, para cada nível de estresse salino, as plântulas inoculadas apresentaram maior produção de matéria seca, indicando crescimento mais vigoroso nas plântulas tratadas com *B. aryabhatai*.

A maior matéria seca das raízes das plântulas de milho foi observada entre o controle e o nível de estresse salino moderado, não apresentando diferenças significativas. Independentemente do nível de salinidade, destaca-se que a inoculação de *B. aryabhatai* foi melhor em comparação as não inoculadas (Figura 7C). Verifica-se que houve redução no índice de matéria seca das raízes plântulas de amendoim à medida que os níveis de estresse salino foram aumentando. Não se observando diferenças entre as plântulas inoculadas ou sem inoculação nos níveis moderado e severo (Figura 7D).

Figura 7 - Efeito dos níveis de estresse salino da água de irrigação na matéria seca da parte aérea (A e B), matéria seca das raízes (C e D) e matéria seca total (E e F) das plântulas de milho (A, C, E) e de amendoim (B, D, F) não inoculadas e inoculadas com *B. aryabhatai*. Barras seguidas por letras distintas, minúsculas para a inoculação ou não de *Bacillus aryabhatai* ou letras maiúsculas para os níveis de estresse salino mostram diferenças significativas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Os dados referem-se aos valores médios ($n = 40$) \pm erro padrão da média. UEMS/Aquidauana, 2024



A inoculação de *B. aryabhatai* reportou efeitos quanto a matéria seca total das plântulas de milho no nível severo de estresse salino. No entanto, não se observou diferenças estatísticas até o nível moderado de salinidade (Figura 7E). É possível observar que houve uma redução significativa no índice de matéria seca total das plântulas de amendoim com o aumento dos níveis de estresse salino. Verifica-se que para cada nível de salinidade a inoculação de *B. aryabhatai* proporcionou maior matéria seca (Figura 7F). Estes resultados demonstram que bactérias do gênero *B. aryabhatai* são capazes de mitigar os efeitos do estresse salino, além de promover o crescimento vegetal.

Xu et al. (2022) constataram que *B. aryabhatai* isolado a partir de espécies de plantas selvagens foi capaz de promover o crescimento de plantas de *Arabidopsis*, *N. tabacum* e outras espécies vegetais. O isolado aumentou o tamanho e a matéria seca das plantas avaliadas, indicando que *B. aryabhatai* pode estimular o crescimento de uma ampla gama de espécies de plantas. Além de promover o crescimento de plantas por meio de fitohormônios e metabólicos (Radhakrishnan et al., 2017), espécies de *Bacillus* podem auxiliar na indução de proteínas, aminoácidos e minerais endógenos que poderia promover o crescimento de plantas (Radhakrishnan et al., 2016; Kang et al., 2014).

Verifica-se que o teor relativo de água no tratamento controle não apresentou diferenças significativas em relação ao nível de estresse suave, além disso, não foram observadas diferenças entre as plântulas de milho com ou sem inoculação até o nível moderado de estresse (Figura 8A). Nota-se que o efeito da inoculação de *B. aryabhatai* se torna significativo apenas no nível severo de estresse, não apresentando diferenças no teor relativo de água entre o controle e o nível suave. No entanto é possível observar que as plântulas de inoculadas reportaram maior teor relativo de água nos níveis moderado e severo de salinidade (Figura 8B).

Figura 8 - Efeito dos níveis de estresse salino da água de irrigação no teor relativo de água (A e B), índice de vigor de comprimento (C e D) e índice de vigor de matéria seca (E e F) das plântulas de milho (A, C, E) e de amendoim (B, D, F) não inoculadas e inoculadas com *B. aryabhatai*. Barras seguidas por letras distintas, minúsculas para a inoculação ou não de *B. aryabhatai* ou letras maiúsculas para os níveis de estresse salino mostram diferenças significativas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Os dados referem-se aos valores médios ($n = 40$) \pm erro padrão da média. UEMS/Aquidauana, 2024

Ao realizar uma análise de vias metabólicas, Xu et al. (2022) revelaram que os transcritos significativos estavam na biossíntese de alcalóides indólicos e nas vias do metabolismo do ácido linoleico. Essas vias tem sido relacionadas a resistência e tolerância a fatores bióticos e abióticos (Okada et al., 2015; Matsuura et al., 2014), indicando que o isolado de *B. aryabhatai* pode induzir proteção contra ataques de patógenos e aos efeitos abióticos (Maver et al., 2021).

O estresse salino, quando provocado pela água de irrigação pode desencadear distúrbios progressivos, tais como estresses osmóticos, tóxicos e nutricionais, afetando principalmente os processos fisiológicos e morfológicos das plantas (Barbosa et al., 2021). Contudo, as rizobactérias desempenham papel na proteção das plantas, apresentando características promotoras de crescimento e desenvolvimento, que se refletem diretamente na biomassa, sugerindo, portanto, uma mitigação ao estresse salino (Niu et al., 2018).

Observa-se que o nível de estresse suave não apresentou efeitos quanto ao índice de vigor de comprimento (IVC), porém, a partir do nível moderado, houve redução significativa no IVC

das plântulas de milho (Figura 8C). Assim como o milho, o amendoim também não apresentou diferença no índice de vigor de comprimento entre os níveis controle e severo. No entanto, em todos os níveis de estresse salino a inoculação de *B. aryabhattai* mostrou-se eficaz, apresentando maior índice de vigor de comprimento, tanto para as plântulas de milho quanto para as plântulas de amendoim (Figura 8D).

Estudando os efeitos da inoculação de *B. aryabhattai* sob estresse salino, Castelo et al. (2023) observaram que a salinidade afetou a absorção de água e nutrientes, resultando na redução do diâmetro do caule das plantas de milho. No entanto, esses efeitos foram atenuados com a utilização de *B. aryabhattai*. A inoculação de *B. aryabhattai* nos estádios iniciais das plantas pode mitigar os efeitos adversos de estresses abióticos por meio de alterações bioquímicas na planta, facilitando a absorção de água e nutrientes (Maio et al., 2019; Qiu et al., 2021).

Sousa et al. (2021) relatam que essa diminuição pode ser atribuída à irrigação com água salina, uma vez que os sais presentes na água de irrigação podem inibir a translocação e a síntese de hormônios essenciais para o crescimento vegetal, resultando na redução da produção de matéria seca. Neste estudo, em todos os níveis de estresse, as plântulas inoculadas com *B. aryabhattai* demonstraram IVC superior. Além disso, para os demais níveis, as plântulas com inoculação apresentaram um maior índice de vigor de matéria seca.

Entre os diferentes níveis de estresse, é possível observar que o nível severo resultou em uma redução no índice de vigor de matéria seca (IVMS) das plântulas de milho, no qual não apresentou diferença significativa entre as plântulas inoculadas e as não inoculadas (Figura 8E). Observa-se uma redução no IVMS nas plântulas de amendoim, à medida que o nível de estresse salino aumenta. Entretanto, para todos os níveis de estresse salino a inoculação de *B. aryabhattai*, demonstrou um IVMS superior em relação as plântulas não inoculadas (Figura 8F).

Ao estudar a coinoculação de *Bradyrhizobium japonicum* e *B. aryabhattai*, Morais (2018) concluiu que as rizobactérias foram capazes de atenuar os efeitos do estresse abiótico em plantas de soja. Sansinenea (2019) destaca a eficácia das bactérias do gênero *Bacillus* como promotoras de crescimento vegetal em diversas culturas. Liu et al. (2017) constataram que, ao inocularem a cepa de *Bacillus amyloliquefaciens*, FZB42, em plantas de *Arabidopsis thaliana*, ela foi capaz de estimular o crescimento da planta tanto em condições de estresse salino quanto em condições não salinas.

Considerações finais

A inoculação de *B. aryabhattai* em sementes de milho e amendoim demonstrou eficácia em atenuar os efeitos negativos do estresse salino. Embora o milho tenha demonstrado tolerância à salinidade, o amendoim mostrou-se mais sensível com o aumento do nível salino. No entanto, mesmo sob condições de alta salinidade, as plântulas inoculadas com *B. aryabhattai* apresentaram resultados promissores.

Referências

- ABDALLAH, R. A. B.; TLILI, S. M.; NEFZI, A.; JABNOUN-KHIAREDDINE, H. Biocontrol of *Fusarium* wilt and growth promotion of tomato plants using endophytic bacteria isolated from *Nicotiana glauca* organs. **Biological Control**, Amsterdam, v. 97, p. 80-88, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2016.03.005>
- ABDUL-BAKI, A. A.; ANDERSON, J. D. Vigor determination in soybean seed by multiple criteria. **Crop Science**, Madison, v. 13, n. 6, p. 630-633, 1973. <https://doi.org/10.2135/cropsci1973.0011183X001300060013x>
- ACOSTA-MOTOS, J. R.; ORTUÑO, M. F.; BERNAL-VICENTE, A.; DIAZ-VIVANCOS, P.; SANCHEZ-BLANCO, M. J.; HERNANDEZ, J. A. Plant responses to salt stress: adaptive mechanisms. **Agronomy**, Basel, v. 7, n. 1, p. 1-18, 2017. <https://doi.org/10.3390/agronomy7010018>
- ALORI, E. T.; DARE, M. O.; BABALOLA, O. O. Microbial inoculants for soil quality and plant health. **Sustainable Agriculture Reviews**. Aix-en-Provence, v. 22, p. 281-307, 2017. https://doi.org/10.1007/978-3-319-48006-0_9
- ANSARI, F. A.; AHMAD, I.; AND PICHTEL, J. Growth stimulation and alleviation of salinity stress to wheat by the biofilm forming *Bacillus pumilus* strain FAB10. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 143, p. 45-54, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.05.023>
- ATTA, K.; MONDAL, S.; GORAI, S.; SINGH, A. P.; KUMARI, A.; GROSH, T.; ROY, A.; HEMBRAM, S.; GAIKWAD, D. J.; MONDAL, S.; BHATTACHARYA, S.; JHA, U. C.; JESPERSEN, D. Impacts of salinity stress on crop plants: Improving salt tolerance through genetic and molecular dissection. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 14, n. 1241736, p. 1-21, 2023. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1241736>
- AYAZ, M.; ALI, Q.; JIANG, Q.; WANG, R.; WANG, Z.; MU, G.; KHAN, S. A.; KHAN, A. R.; MANGHWAR, H.; WU, H.; GAO, X.; GU, Q. Salt tolerant *Bacillus* strains improve plant growth traits and regulation of phytohormones in wheat under salinity stress. **Plants**, Basel, v. 11, n. 20, p. 1-22, 2022. <https://doi.org/10.3390/plants11202769>
- BARBOSA, I. J.; SOUSA, H. C.; SCHNEIDER, F.; SOUSA, G. G. DE; LESSA, C. I. N.; SANÓ, L. Mulch with sugarcane bagasse and bamboo straw attenuates salt stress in cowpea cultivation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 25, n. 7, p.485-491, 2021. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n7p485-491>
- CABRAL, R. C.; ZUFFO, A. M.; MAEKAWA, S. C. E.; SILVA, K. C.; STEINER, F. Identificação de cultivares de soja para tolerância aos estresses hídrico e salino durante a fase de estabelecimento da plântula. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, v. 15, n. 4, p. 1-20, 2022. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2022v15n4e9789>
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, Lavras, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019. <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>

FERREIRA, N. C.; MAZZUCHELLI, R. C. L.; PACHECO, A. C.; ARAUJO, F. F.; ANTUNES, J. E. L.; ARAUJO, A. S. F. *Bacillus subtilis* improves maize tolerance to salinity. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 48, n. 8, p. 1-4, 2018. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20170910>

GALINDO, F. S.; BUZETTI, S.; RODRIGUES, W. L.; BOLETA, E. H. M.; SILVA, V. M.; TAVANTI, R. F. R.; FERNANDES, G. C.; BIAGINI, A. L. C.; ROSA, P. A. L.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Inoculation of *Azospirillum brasilense* associated with silicon as a liming source to improve nitrogen fertilization in wheat crops. **Scientific reports**, London, v. 10, n. 1, p. 1-18, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63095-4>

GAO, Y.; ZOU, H.; WANG, B.; YUAN, F. Progress and applications of plant growth-promoting bacteria in salt tolerance of crops. **International Journal of Molecular Sciences**, Basel, v. 23, n. 13, p. 1-20, 2022. <https://doi.org/10.3390/ijms23137036>

GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCT Sal, 2010. p. 504 p.

GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 14. ed. Piracicaba: Degaspari, 2000. 477 p.

GONG, Z. Plant abiotic stress: new insights into the factors that activate and modulate plant responses. **Journal of Integrative Plant Biology**, Carlton South, v. 63, n. 3, p. 429-430, 2021. <https://doi.org/10.1111/jipb.13079>

HASSAN, A.; AMJAD, S. F.; SALEEM, M. H.; YASMIN, H.; IMRAN, M.; RIAZ, M.; ALI, Q.; JOYIA, F. A.; MOBEEN, S. A.; AHMED, S.; ALI, S.; ALSAHLI, A. A.; ALYEMENI, M. N. Foliar application of ascorbic acid enhances salinity stress tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.) through modulation of morphophysio- biochemical attributes, ions uptake, osmo-protectants and stress response genes expression. **Saudi Journal of Biological Sciences**, Riyadh, v. 28, n. 8, p. 4276-4290, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.03.045>

HAYNES, W. M. **Handbook of chemistry and physics: A Ready-Reference Book of Chemical and Physical Data**. 95. ed. Boca Ratón: Crc. Press Inc., 2014, 2600 p.

HILLEL, D. **Soil and water: physical principles and process**. New York: Academic Press, p. 1971-288.

IBARRA-VILLARREAL, A. L.; GÁNDARA-LEDEZMA, A.; GODOY-FLORES, A. D.; HERRERA-SEPÚLVEDA, A.; DÍAZ-RODRÍGUEZ, A. M.; PARRA-COTA, F. I.; SANTOS-VILLALOBOS, S. Salt-tolerant *Bacillus* species as a promising strategy to mitigate the salinity stress in wheat (*Triticum turgidum* subsp. *durum*). **Journal of Arid Environments**, Amsterdam, v. 186, p. 1-8, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104399>

ISLAM, A. T. M. T.; KOEDSUK, T.; ULLAH, H.; TISARUM, R.; JENWEERAWAT, S.; CHA-UM, S.; DATTA, A. Salt tolerance of hybrid baby corn genotypes in relation to growth, yield, physiological, and biochemical characters. **South African Journal of Botany**, Amsterdam, 147, p. 808–819, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.03.023>

IQBAL, S.; HUSSAIN, S.; QAYYAUM, M. A.; ASHRAF, M.; SAIFULLAH, S. The response of maize physiology under salinity stress and its coping strategies. In: SHABALA, S. (Ed.). 2ed.

Plant stress physiology, Wallingford: CABI, 2020. p. 1-25, 2020. <https://doi.org/10.5772/intechopen.92213>

JALAL, A.; OLIVEIRA, C. E. S.; FREITAS, L. A.; GALINDO, F. S.; LIMA, B. H., BOLETA, E. H. M.; SILVA, E. C.; DO NASCIMENTO, V.; NOGUEIRA, T. A. R.; BUZETTI, S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Agronomic biofortification and productivity of wheat with soil zinc and diazotrophic bacteria in tropical savannah. **Crop & Pasture Science**, Washington DC, v. 73, n. 7-8, p. 817–830, 2022. <https://doi.org/10.1071/CP21457>

JASIM, B.; GEETHU, P. R.; RADHAKRISHNAN, R. Effect of endophytic *Bacillus* sp. from selected medicinal plants on growth promotion and diosgenin productions in *Trigonella foenum-graecum*. **Plant cell organic cultivated**, London, v. 122, p. 565-572, 2015. <https://doi.org/10.1007/s11240-015-0788-1>

KANG, S.-M.; RADHAKRISHNAN, R.; YOU, Y.-H.; JOO, G.-J.; LEE, I.-J.; LEE, K.-E.; KIM, J.-H. Phosphate solubilizing *Bacillus megaterium* mj1212 regulates endogenous plant carbohydrates and amino acids contents to promote mustard plant growth. **Indian Journal of Microbiology**, New Delhi, v. 54, n. 4, p. 427–433, 2014. <https://doi.org/10.1007/s12088-014-0476-6>

KAVAMURA, V. N.; SANTOS, S. N.; SILVA, J. L.; PARMA, M. M.; ÁVILA, L. A.; VISCONTI, A.; ZUCCHI, T. D.; TAKETANI, R. G.; ANDREOTE, F. D.; MELO, I. S. Screening of Brazilian cacti rhizobacteria for plant growth promotion under drought. **Microbiological Research**, Jena, v. 168, n. 4, p. 183-191, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2012.12.002>

KHASANOV, S.; KULMATOV, R.; LI, F.; AMSTEL, A.; BARTHOLOMEUS, H.; ASLANOV, I.; SULTONOV, K.; KHOLOV, N.; LIU, H.; CHEN, G. Impact assessment of soil salinity on crop production in Uzbekistan and its global significance. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, London, v. 342, p. 1-13, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108262>

KUMAR, A.; SINGH, S.; GAURAV, A. K.; SRIVASTAVA, S.; VERMA, J. P. Plant growth-promoting bacteria: biological tools for the mitigation of salinity stress in plants. **Frontiers in Microbiology**, Lausanne, v. 11, p. 1-15, 2020. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01216>

LABOURIAU, L. G. **A germinação de sementes**. Washington DC: Organização dos Estados Americanos, 1983. 174 p.

LEE, S.; KA, J.-O.; SONG, H.-G. Growth Promotion of *Xanthium italicum* by Application of Rhizobacterial Isolates of *Bacillus aryabhatai* in Microcosm Soil. **The Journal of Microbiology**, Seoul, v. 50, n. 1, p. 45-9, 2012. <https://doi.org/10.1007/s12275-012-1415-z>

LIU, S.; HAO, H.; LU, X.; ZHAO, X.; WANG, Y.; ZHANG, Y. Transcriptome profiling of genes involved in induced systemic salt tolerance conferred by *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42 in *Arabidopsis thaliana*. **Scientific Reports**, London, v. 7: 10795, 2017. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-11308-8>

- MAGUIRE, J. D. Speeds of germination-aid selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v. 2, n. 2, p. 176-177, 1962. <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>
- MAHMOUD, O. M. B.; HIDRI, R.; TALBI-ZRIBI, O.; TAAMALLI, W.; ABDELLY, C.; DJÉBALI, N. Auxin and proline producing rhizobacteria mitigate salt-induced growth inhibition of barley plants by enhancing water and nutrient status. **South African Journal of Botany**, Amsterdam, v. 128, p. 209-217, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.10.023>
- MATSUURA, H. N.; RAU, M. R.; FETT-NETO, A. G. Oxidative stress and production of bioactive monoterpene indole alkaloids: biotechnological implications. **Biotechnology Letters**, Dordrecht, v. 36, n. 2, p. 191–200, 2014. <https://doi.org/10.1007/s10529-013-1348-6>
- MAVER, M.; ESCUDERO-MARTINEZ, C.; ABBOTT, J.; MORRIS, J.; HEDLEY, P. E.; MIMMO, T.; BULGARELLI, D. Applications of the indole-alkaloid gramine modulate the assembly of individual members of the barley rhizosphere microbiota. **PeerJ – Life and Environment**, Corte Madera, 9, p. 1-24, 2021. <https://doi.org/10.7717/peerj.12498>
- MAY, A.; RAMOS, N. P.; SANTOS, M. S.; SILVA, E. H. F. M.; MELO, I. S. **Promoção de crescimento de mudas pré brotas de cana-de-açúcar inoculadas com *Bacillus aryabhatai* em diferentes frequências de irrigação**. Jaguariuna: Embrapa Meio Ambiente, 2019. 26 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 80).
- MISHRA, P.; MISHRA, J.; ARORA, N. K. Plant growth promoting bacteria for combating salinity stress in plants—Recent developments and prospects: A review. **Microbiological Research**, Jena, v. 252, p. 1-13, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2021.126861>
- MORAIS, J. F. A. **Avaliação de consórcios bacterianos para mitigar os efeitos de estresse hídrico e salino em cultura de soja**. 2018 39p. Dissertação (Mestrado em Ciências) — Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- NIU, X.; SONG, L.; XIAO, Y.; GE, W. Drought-tolerant plant growth-promoting rhizobacteria associated with foxtail millet in a semi-arid agroecosystem and their potential in alleviating drought stress. **Frontiers in Microbiology**, Lausanne, v. 8, n. 2580, p. 1-11, 2018. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02580>
- NUMAN, M.; BASHIR, S.; KHAN, Y.; MUMTAZ, R.; SHINWARI, Z. K.; KHAN, A. L.; KHAN, A.; AL-HARRASI, A. Plant growth promoting bacteria as an alternative strategy for salt tolerance in plants: A review. **Microbiological Research**, Jena, v. 209, p. 21-32, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.02.003>
- OKADA, K.; ABE, H.; ARIMURA, G.-I. Jasmonates induce both defense responses and communication in monocotyledonous and dicotyledonous plants. **Plant & Cell Physiology**, Tokyo, v. 56, n. 1, p. 16–27, 2015. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcu158>
- OLIVEIRA, C. E. S.; ZOZ, T.; JALAL, A.; SERON, C. C.; SILVA, R. A.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Tolerance of tomato seedling cultivars to different values of irrigation water salinity. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 26, n. 10, p. 697-705, 2022. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n10p697-705>

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 aryabhatai* SRB02 tolerates oxidative and nitrosative stress and promotes soybean growth by modulating phytohormone production. **PLoS ONE**, San Francisco, v. 12, n. 3, p. 1-28, 2017. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173203>

PAUL, D.; LADE, H. Plant-growth-promoting rhizobacteria to improve crop growth in saline soils: a review. **Agronomy for sustainable development**, Paris, v. 34, p. 737-752, 2014. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0233-6>

PESSOA, L. G. M.; FREIRE, M. B. G. S.; GREEN, C. H. M.; MIRANDA, M. F. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; PESSOA, W. R. L. S. Assessment of soil salinity status under different land-use conditions in the semiarid region of Northeastern Brazil. **Ecological Indicators**, Amsterdam, v. 141, p. 1-11, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109139>

PETROVIĆ, G.; JOVIČIĆ, D.; NIKOLIĆ, Z.; TAMINDŽIĆ, G.; IGNJATOV, M.; MILOŠEVIĆ, D.; MILOŠEVIĆ, B. Comparative study of drought and salt stress effects on germination and seedling growth of pea. **Genetika**, Novi Sad, v. 48, n. 1, p. 373-381, 2016. <https://doi.org/10.2298/GENSR1601373P>

QIU, Y.; FAN, Y.; CHEN, Y.; HAO, X.; LI, S.; KANG, S. Response of dry matter and water use efficiency of alfalfa to water and salinity stress in arid and semiarid regions of Northwest China. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 254, p. 106-934, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106934>

QURASHI, A. W.; SABRI, A. N. Bacterial exopolysaccharide and biofilm formation stimulate chickpea growth and soil aggregation under salt stress. **Brazilian Journal of Microbiology**, Rio de Janeiro, v. 43, n. 3, p. 1183-1191, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1517-838220120003000046>

RADHAKRISHNAN, R.; LEE, I.-J. Gibberellins producing *Bacillus methylotrophicus* KE2 supports plant growth and enhances nutritional metabolites and food values of lettuce. **Plant Physiology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 109, p. 181-189, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.09.018>

ROSA, P. A. L.; GALINDO, F. S.; OLIVEIRA, C. E. S.; JALAL, A.; MORTINHO, E. S.; FERNANDES, G. C.; MAREGA, E. M. R.; BUZETTI, S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Inoculation with plant growth-promoting bacteria to reduce phosphate fertilization requirement and enhance technological quality and yield of sugarcane. **Microorganisms**, Basel, v. 10, n. 1, p. 1-18, 2022. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10010192>

SABAGH, A. E.; HOSSAIN, A.; ISLAM, M. S.; IQBAL, M. A.; FAHAD, S.; RATNASEKERA, D.; AZEEM, F.; WASAYA, A.; SYTAR, O.; KUMAR, N.; LLANES, A.; ERMAN, M.; CERITOĞLU, M.; ARSLAN, H.; ARSLAN, D.; HUSSAIN, S.; MUBEEN, M.; IKRAM, M.; MEENA, R. S.; GHARIB, H.; WARAICH, E.; NASIM, W.; LIU, L.; SANEOKA, H. **Consequences and mitigation strategies of heat stress for sustainability of soybean (*Glycine max* L. Merr.) production under the changing climate**. London: A IntechOpen, 2020. 22 p. <https://doi.org/10.5772/intechopen.92098>

SANSINENEA, E. *Bacillus* spp.: As Plant Growth-Promoting Bacteria. In: SINGH, H.; KESWANI, C.; REDDY, M.; SANSINENEA, E.; GARCÍA-ESTRADA, C. (Eds.). **Secondary Metabolites of Plant Growth Promoting Rhizomicroorganisms**. Singapore: Springer, 2019. p. 1-14. https://doi.org/10.1007/978-981-13-5862-3_11

SARKAR, A.; GHOSH, P. K.; PRAMANIK, K.; MITRA, S.; SOREN, T.; PANDEY, S.; MAITI, T. K. A halotolerant Enterobacter sp. displaying ACC deaminase activity promotes rice seedling growth under salt stress. **Research in Microbiology**, Amsterdam, v. 169, n. 1, p. 20-32, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2017.08.005>

SIVASAKTHI, S.; USHARANI, G.; SARANRAJ, P. Biocontrol potentiality of plant growth promoting bacteria (PGPR) — *Pseudomonas fluorescens* and *Bacillus subtilis*: A review. **African Journal of Agricultural**, Nairobi, v. 9, n. 16, p. 1265–1277, 2014. <https://doi.org/10.5897/AJAR2013.7914>

SOUSA, H. C.; SOUSA, G. G.; VIANA, T. V. A.; PEREIRA, A. P. A.; LESSA, C. I. N.; SOUZA, M. V. P.; GUILHERME, J. M. S.; GOES, G. F.; ALVES, F. G. S.; GOMES, S. P.; SILVA, F. D. B. *Bacillus aryabhattai* mitigates the effects of salt and water stress on the agronomic performance of maize under an agroecological system. **Agriculture**, Basel, v. 13, n. 6, p. 1-20, 2023. <https://doi.org/10.3390/agriculture13061150>

SOUSA, S. M.; OLIVEIRA, C. A.; ANDRADE, D. L.; CARVALHO, C. G.; RIBEIRO, V. P.; PASTINA, M. M.; MARRIEL, I. E.; LANA, U. G. P.; GOMES, E. A. Tropical *Bacillus Strains* Inoculation Enhances Maize Root Surface Area, Dry Weight, Nutrient Uptake and Grain Yield. **Journal of Plant Growth Regulation**, London, v. 40, n. 11, p. 867–877, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10146-9>

STAVI, I.; THEVS, N.; PRIORI, S. Soil salinity and sodicity in drylands: A review of causes, effects, monitoring, and restoration measures. **Frontiers in Environmental Science**, Bristol, v. 9, p. 1-16, 2021. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.712831>

TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; GALINDO, F. S. Inoculation of bacteria with a focus on biological nitrogen fixation and plant growth-promotion. In: SEVERIANO, E. C.; MORAES, M. F.; PAULA, A. M. (Eds.). **In Topics in Soil Science**. Viçosa: SBCS, 2019. v. 10. p. 577–648.

TEIXEIRA, PC; DONAGEMMA, GK; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. **Manual de Métodos de Análise de Solo**, 3ª ed.; Embrapa: Brasília, Brasil, 2017; pág. 573.

VEJAN, P.; ABDULLAH, R.; KHADIRAN, T.; ISMAIL, S.; BOYCE, A. N. Role of Plant Growth Promoting Rhizobacteria in Agricultural Sustainability-A Review. **Molecules**, Basel, v. 21, n. 5, p. 1-17, 2016. <https://doi.org/10.3390/molecules21050573>

WEATHERLEY, P. E. Studies in the water relations of the cotton plant. I. The field measurement of water deficit in leaves. **New Phytologist**, New Jersey, v. 49, n. 1, p. 81-97, 1950. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1950.tb05146.x>

XU, H.; GAO, J.; PORTIELES, R.; DU, L.; GAO, X.; BORRAS-HIDALGO, O. Endophytic bacterium *Bacillus aryabhattai* induces novel transcriptomic changes to stimulate plant growth. **PLoS ONE**, San Francisco, v. 17, n. 8, p. e0272500, 2022.

YAN, H. O. N. G.; SHAH, S. S.; ZHAO, W.; LIU, F. U. L. A. I. Variations in water relations, stomatal characteristics, and plant growth between quinoa and pea under salt-stress conditions. **Pakistan Journal of Botany**, Karachi, v. 52, n. 1, p. 1-7, 2020. [http://dx.doi.org/10.30848/PJB2020-1\(8\)](http://dx.doi.org/10.30848/PJB2020-1(8))

YUAN, J.; ZHANG, N.; HUANG, Q.; RAZA, W.; LI, R.; VIVANCO, J. M.; SHEN, Q. Organic acids from root exudates of banana help root colonization of PGPR strain *Bacillus amyloliquefaciens* NJN-6. **Scientific Reports**, London, v. 5, n. 13438, p. 1-8, 2015. <https://doi.org/10.1038/srep13438>

ZAHEER, M. S.; RAZA, M. A. S.; SALEEM, M. F.; HAIDER, K. I.; AHMAD, S.; IQBAL, R.; MANEVSKI, K. Investigating the effect of *Azospirillum brasilense* and *Rhizobium pisi* on agronomic traits of wheat (*Triticum aestivum* L.). **Archives of Agronomy and Soil Science**, Oxfordshire, v. 65, n. 11, p. 1554–1564, 2019. <https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1566954>

ZELM, E.; ZHANG, Y.; TESTERINK, C. Salt tolerance mechanisms of plants. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 71, p. 403-433, 2020. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050718-100005>

ZUFFO, A. M.; STEINER, F.; SOUSA, T. O.; AGUILERA, J. G.; TEODORO, P. E.; ALCÂNTARA NETO, F.; RATKE, R. F. How does water and salt stress affect the germination and initial growth of Brazilian soya bean cultivars? **Journal of Agronomy and Crop Science**, New Jersey, v. 206, p. 837-850, 2020. <https://doi.org/10.1111/jac.12434>.