

DESENVOLVIMENTO INICIAL DE MILHO INOCULADO E NÃO INOCULADO SOB ESTRESSES SALINO E HÍDRICO

EBINEZER PEDRINHO MONTEIRO¹; GEOCLEBER GOMES DE SOUSA²

¹Graduando em Agronomia, Instituto de Desenvolvimento Rural (IDR), Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (Avenida da Abolição, 3, centro, 62.790-000, Redenção/CE, Brasil). E-mail: bipemon8@gmail.com

²Orientador, Professor Doutor, Instituto de Desenvolvimento Rural (IDR), Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (Avenida da Abolição, 3, centro, 62.790-000, Redenção/Ce, Brasil). E-mail: sousagg@unilab.edu.br

1. RESUMO

As regiões semiáridas apresentam problemas relacionados ao déficit hídrico e uso de águas salobras, que comprometem o crescimento das culturas. Porém, o uso de inoculantes microbianos pode mitigar os efeitos deletérios de ambos os estresses abióticos. Objetivou-se avaliar o desenvolvimento inicial da cultura do milho submetida aos estresses hídrico e salino, inoculada com *Bacillus aryabhattai*. O experimento foi realizado de agosto a novembro de 2022 na Fazenda Experimental Piroás, pertencente à Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB), no município de Redenção estado do Ceará. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, em esquema de parcela subdivididas, com cinco repetições. As parcelas corresponderam a duas condutividades elétricas da água de irrigação (CEa: 0,3 dS m⁻¹ e 3,0 dS m⁻¹). As subparcelas corresponderam a três regimes hídricos (RH1= 50%; RH2= 75% e RH3= 100% da evapotranspiração da cultura (ETc)). O estresse salino afetou negativamente a altura de plantas, área foliar e diâmetro do colmo. Já o estresse hídrico (50 e 75% da ETc) afetou negativamente a altura de plantas, diâmetro e a matéria seca do colmo e a matéria seca das folhas. A inoculação com *Bacillus aryabhattai* mitigou os efeitos

deletérios dos estresses abióticos (salino e hídrico) nas variáveis altura de plantas, diâmetro do caule, matéria seca do colmo e da folha de plantas de milho. A irrigação com água salobra (3,0 dS m⁻¹) eleva a condutividade do extrato de saturação do solo independente da lâmina aplicada. E o potencial hidrogeniônico é reduzido a partir da utilização de água salobra e uso de inoculante sob déficit hídrico.

Palavras-chave: *Bacillus aryabhattai*, *Zea Mays L.*, estresses abióticos, microrganismo.

INITIAL DEVELOPMENT OF INOCULATED AND UNINOCULATED MAIZE UNDER SALINE AND WATER STRESS

2. ABSTRACT

Semi-arid regions present problems related to water deficit and the use of brackish water, which compromise crop growth. However, the use of microbial inoculants can mitigate the deleterious effects of both abiotic stresses. The objective was to evaluate the initial development of the maize crop subjected to water and saline stress, inoculated with *Bacillus aryabhattai*. The experiment was carried out from August to November 2022 at the Piroás Experimental Farm, belonging to the Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB), in the municipality of Redenção in the state of Ceará. The experimental design was randomized blocks, in a sub-subdivided plot scheme, with five replications. The plots corresponded to two electrical conductivities of irrigation water (ECw: 0.3 dS m⁻¹ and 3 dS m⁻¹). The subplots corresponded to three water regimes (RH1= 50%; RH2= 75% and RH3= 100% of crop evapotranspiration (ETc)). The subsubplots were constituted by the presence and absence of the inoculant *Bacillus aryabhattai*. Salt stress negatively affected plant height, leaf area and stem diameter. Water stress (50 and 75% of ETc) negatively affected plant height,

stem diameter and dry matter, and leaf dry matter. Inoculation with *Bacillus aryabhatai* mitigated the deleterious effects of abiotic stress (saline and water) on plant height, stem diameter, stem and leaf dry matter of maize plants. Irrigation with brackish water (3.0 dS m⁻¹) increases the conductivity of the soil saturation extract regardless of the water depth applied. And the hydrogenic potential is reduced from the use of brackish water and use of inoculant under water deficit.

Keywords: *Bacillus aryabhatai*. *Zea Mays L.* abiotic stresses. microorganism.

3. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays L.*) é originário da América Central, devido a sua grande importância econômica é cultivado mundialmente, no Brasil é um dos principais cereais produzidos, com ênfase na alimentação humana, animal e a bioenergia, sendo cultivado em 21.581,9 mi ha, (CONAB, 2022; DANTAS JUNIOR et al., 2016; FORNASIERI FILHO, 2007; LOPES et al., 2019). Foi gradativamente expandido para regiões áridas e semiáridas, contribuindo para solucionar problemas relacionados à segurança alimentar em locais que possuem limitação dos recursos hídricos (SHAN et al., 2002; SONG et al., 2019).

O semiárido brasileiro possui aproximadamente 27 milhões de habitantes, sendo considerado uma das maiores regiões semiáridas (SUDENE, 2017). Esta região apresenta como características, temperaturas elevadas, alta evapotranspiração e baixos índices pluviométricos, devido esta variabilidade climática, essa região sofre com a escassez hídrica (CAVALCANTE JÚNIOR et al., 2019). Além da baixa disponibilidade hídrica, outro fator nesta região é a presença de água de baixa qualidade, ou seja, águas com altos teores de sais em sua composição (SOUZA et al., 2019; LESSA et al., 2022).

Os estresses hídrico e salino, são fatores que afetam o crescimento, desenvolvimento, metabolismo, absorção de nutrientes e produção das culturas, devido aos componentes osmóticos e tóxicos, limitando severamente a produção agrícola (LACERDA et al., 2018; SOUSA et al., 2021a). Song et al. (2019) avaliando os efeitos do estresse hídrico no milho, concluíram que a planta foi bastante afetada na fase de plântula. Já Sousa et al. (2021a), trabalhando com a cultura do milho, observaram que o estresse salino afeta a altura da planta, a área foliar, a fotossíntese, a transpiração e a condutância estomática.

Com isso, desponta como alternativa para amenizar os efeitos dos estresses abióticos, e garantir a produção, a utilização de inoculantes microbianos formulados com bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCP) (ARMANHI et al., 2021; POUDEL et al., 2021). Esses microrganismos podem oferecer proteção às plantas contra o déficit hídrico por meio da manutenção umidade e propiciar melhor desenvolvimento radicular e fornecimento de nutrientes. Pesquisadores estão buscando identificar microrganismos e seus mecanismos de ação, que possam atenuar os estresses abióticos (KAVAMURA et al., 2013; NIU et al., 2018). Estudos promissores realizados, observaram que a inoculação com microrganismos benéficos, ocasiona uma maior produtividade na cultura do milho (SOUSA et al., 2021b).

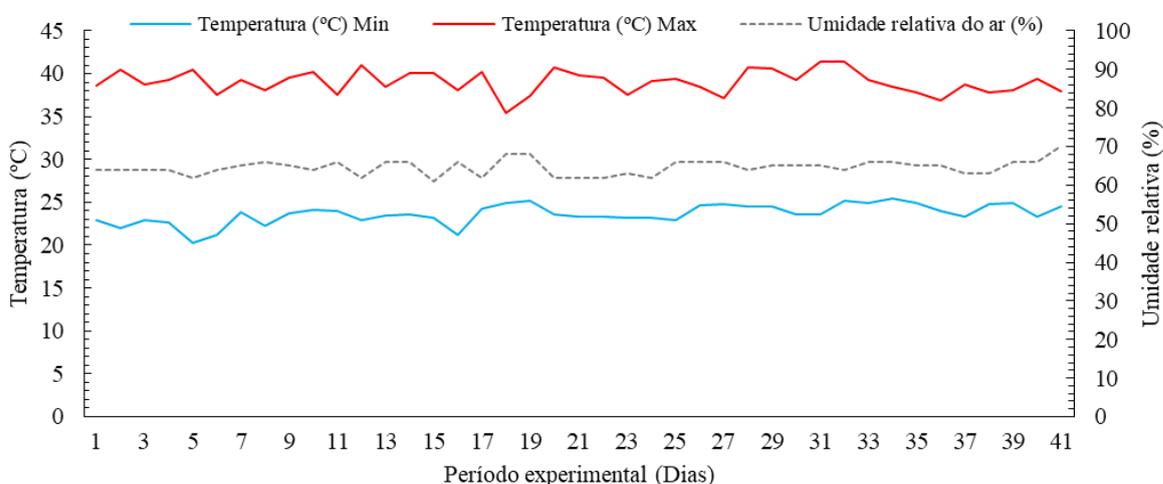
Diante deste cenário, o objetivo da presente pesquisa foi avaliar o desenvolvimento inicial da cultura do milho submetida aos estresses hídrico e salino, inoculada com *Bacillus aryabhattai*.

4. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições de campo entre os meses de agosto e novembro de 2022, a pleno sol, na Fazenda Experimental Piroás, pertencente à Universidade

da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB), localizada no município de Redenção no estado do Ceará. O clima da região é do tipo BSh' com temperaturas muito quentes e chuvas predominantes nas estações do verão e do outono (ALVARES et al., 2013). A Figura 1 apresenta os dados climáticos obtidos durante a realização do experimento.

Figura 1. Valores médios de temperatura e umidade relativa do ar obtidos durante o período experimental



Fonte: Autores (2023).

O solo da área é classificado como Argissolo vermelho-amarelo de textura franco-arenosa (SANTOS et al., 2018). Foram coletadas amostras de solo da área experimental na camada superficial (0-20 cm), que foram enviadas ao laboratório da Universidade Federal do Ceará (UFC), para determinação dos atributos químicos (Tabela 1) de acordo com a metodologia descrita por Teixeira et al. (2017).

Tabela 1. Atributos químicos do solo da área experimental antes do experimento.

<u>MO</u>	<u>N</u>	<u>P</u>	<u>K⁺</u>	<u>Ca²⁺</u>	<u>Mg²⁺</u>	<u>Na⁺</u>	<u>H⁺+Al³⁺</u>	<u>SB</u>	<u>PST</u>	<u>pH</u>	<u>CEes</u>
-----------	----------	----------	----------------------	------------------------	------------------------	-----------------------	--------------------------------------	-----------	------------	-----------	-------------

g kg^{-1}		mg kg^{-1}	$\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$					(%)	(em água)	dS m^{-1}	
15,62	0,98	15,00	1,60	6,00	1,90	0,23	2,31	8,30	2,00	6,60	0,31

MO: Matéria orgânica; SB: Soma de bases; PST: Porcentagem de sódio trocável; CEes: Condutividade elétrica do extrato se saturação do solo.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, em esquema de parcela subdivididas, com cinco repetições. As parcelas corresponderam a duas condutividades elétricas da água de irrigação (CEa): água de abastecimento ($0,3 \text{ dS m}^{-1}$), e solução salina (3 dS m^{-1}). As subparcelas a três regimes hídricos RH1= 50%; RH2= 75% e RH3= 100% da evapotranspiração da cultura (ETc). Já as subsubparcelas foram constituídas pela presença e ausência do inoculante *Bacillus aryabhatai*.

Foram utilizadas sementes correspondentes a cultivar BRS Caatingueiro, semeadas manualmente com cinco sementes por cova, utilizando-se o espaçamento de $0,8 \times 0,3 \text{ m}$ entre linhas de plantio e entre plantas. A inoculação ocorreu imediatamente antes do plantio, através da semente. Dez dias após a semeadura (DAS), foi realizado o desbaste com o estande de plantas já estabelecido, deixando-se uma planta por cova.

O sistema de irrigação utilizado foi por gotejamento, espaçados a $0,3 \text{ m}$, ou seja, correspondendo a um gotejador por planta. Foram utilizados gotejadores de $4, 6$ e 8 L h^{-1} com a finalidade de uniformizar o tempo de irrigação, atendendo os regimes hídricos de 50, 75 e 100% da ETc, respectivamente. O manejo da irrigação foi estimado diariamente pela evapotranspiração de referência, usando dados de um tanque evaporimétrico Classe A. O coeficiente da cultura utilizado foi de $0,86$ (até 42 DAS), conforme recomendação de Souza et al. (2015), com turno de irrigação de dois dias.

A água de abastecimento (tratamento controle - $0,3 \text{ dS m}^{-1}$) foi armazenada em caixas d'água de 500 litros (L) e utilizada no preparo da solução salina de $3,0 \text{ dS m}^{-1}$, que foi preparada com cloreto de sódio (NaCl), cloreto de cálcio ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e cloreto de magnésio

(MgCl₂·6H₂O) mantendo proporção equivalente de 7:2:1 (MEDEIROS, 1992), seguindo a relação entre EC_w e sua concentração molar (mmol_c L⁻¹ = CE × 10). A condutividade elétrica das águas utilizadas foi monitorada periodicamente com um condutivímetro de bancada (AZ[®] 806505 pH/Cond./TDS/Sal).

O turno de rega adotado foi de dois dias. Foi realizado teste de uniformidade sendo obtido o coeficiente de distribuição de 92%. O tempo de irrigação foi obtido a partir da Equação 1:

$$T_i = \frac{ETP_c \times E_p}{E_a \times q} \times 60 \quad (1)$$

Em que:

T_i - Tempo de irrigação (min);

ETP_c - Evapotranspiração da cultura no período (mm);

E_p - espaçamento entre gotejadores;

E_a - Eficiência de aplicação (0,92);

q - vazão (L h⁻¹).

Uma fração de lixiviação de 0,15 (AYERS; WESTCOT, 1999) foi acrescentada ao volume aplicado, e até o estabelecimento do estande das plantas (10 DAS), o experimento foi irrigado diariamente com água de 0,3 dS m⁻¹, com posterior diferenciação dos tratamentos com água salina.

O manejo da adubação foi realizado com base na análise química do solo utilizando-se fontes orgânicas de fertilizantes (esterco bovino e biofertilizantes de bovino e caprino)

aplicados em fundação e cobertura seguindo a recomendação de Fernandes (1993) para milho irrigado, correspondendo à 90 kg ha⁻¹ de N, 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 30 kg ha⁻¹ de K₂O.

Aos 42 dias após a semeadura (DAS), foram avaliadas três plantas de cada parcela de cada tratamento, sendo determinadas as seguintes variáveis: altura de plantas (AP), com auxílio de uma trena graduada em centímetros; número de folhas (NF), através da contagem direta das folhas totalmente expandidas; diâmetro do caule (DC), medindo-se a dois centímetros do solo com auxílio de um paquímetro, em milímetros; área foliar (AF), obtida através das medias lineares de comprimento máximo (C) e largura (L) com auxílio de uma trena em centímetros, multiplicando-os pelo fator de correção (0,75), conforme equação $AF = 0,75 (C \times L)$, conforme metodologia proposta por Oliveira et al. (2016).

Posteriormente as plantas foram coletadas e divididas em folhas e colmo, identificadas em sacos de papel, e levadas a estufa de circulação de ar forçado a 65 °C, por 72 h até atingirem massa constante. Após, com auxílio de balança analítica expressa em gramas foram mesuradas: massa seca da folha (MSF), massa seca do colmo (MSC), e a massa seca da parte aérea (MSPA), através da relação MSF+MSC.

No mesmo período (42 DAS), amostras simples de cada tratamento foram coletadas na cada superficial (0-20 cm), para determinação da condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes), e do potencial hidrogeniônico (pH), seguindo a metodologia de Richards (1954).

Após obtenção dos dados, foi aplicada a análise de variância (ANOVA) e quando significativos pelo teste F, os dados foram submetidos ao teste de Tukey com nível de probabilidade de 0,05, utilizando o software Assistat 7.7 Beta (SILVA; AZEVEDO, 2016).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo resumo de análise de variância observa-se que a área foliar, diâmetro e massa seca do colmo, sofreram influência significativa do regime hídrico de forma isolada e para a interação entre condutividade elétrica da água e inoculação. Já a área foliar, foi influenciada significativamente pela fator condutividade elétrica da água de forma isolada e para a interação entre regime hídrico e inoculação. A variável massa seca da folha foi influenciada pelas interações entre CEa × RH e CEa × INOC. A interação tripla dos fatores (CEa × RH × INOC), influenciou de forma significativa as variáveis altura de plantas, potencial hidrogeniônico e a condutividade elétrica do extrato de saturação. Já o número de folhas e a matéria seca da parte aérea, não sofreram influência significativa de nenhum dos fatores (Tabela 2).

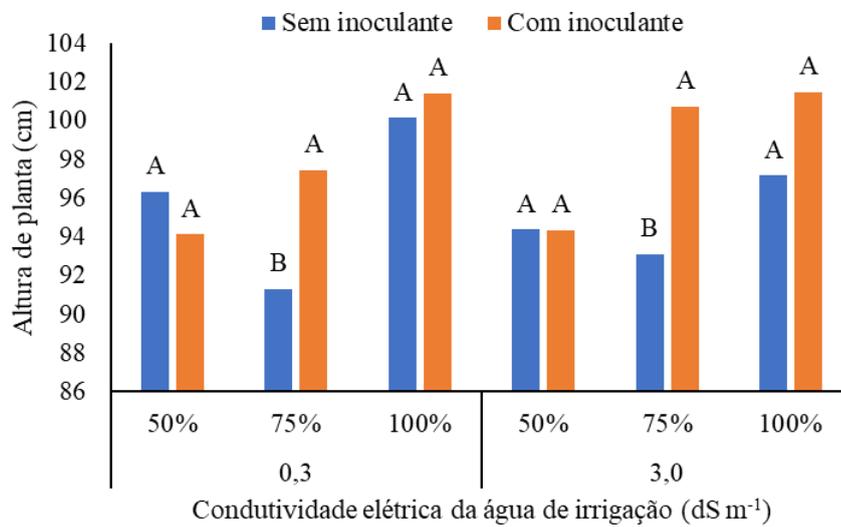
Tabela 2. Resumo da análise de variância para altura de plantas (AP), número de folhas (NF), diâmetro do caule (DC), área foliar (AF), matéria seca do colmo, folha e parte aérea (MSC – MSF – MSPA), potencial hidrogeniônico (pH) e condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CEes) da cultura do milho sob diferentes condutividades elétricas da água de irrigação (CEa), regimes hídricos (RH) e inoculação (INOC).

FV	GL	Quadrado médio								
		AP	NF	DC	AF	MSC	MSF	MSPA	pH	CEes
Blocos	4	29,67 ^{ns}	1,95 ^{ns}	1,53 ^{ns}	207,38 ^{ns}	1,41 ^{ns}	0,46 ^{ns}	2,64 ^{ns}	0,002 ^{ns}	0,01 ^{ns}
CEa	1	0,06 ^{ns}	2,60 ^{ns}	87,96 ^{**}	5613,37 [*]	18,38 ^{**}	122,40 ^{**}	235,65 ^{ns}	0,047 ^{ns}	2,77 ^{**}
Resíduo (CEa)	4	27,97	0,61	2,74	412,05	0,38	0,84	1,80	0,009	0,02
Regime hídrico (RH)	2	21,30 ^{ns}	0,40 ^{ns}	56,08 ^{**}	10546,35 ^{**}	9,74 ^{**}	6,19 ^{**}	5,71 ^{ns}	0,36 ^{**}	0,25 ^{**}
Resíduo (RH)	16	15,37	0,43	2,49	974,55	0,33 ^{ns}	0,93	1,62	0,04	0,02
Inoculação (INOC)	1	9,56 ^{ns}	0,33 ^{ns}	35,25 ^{**}	10360,73 ^{**}	0,30 ^{ns}	0,55 ^{ns}	1,68 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,18 ^{ns}
Resíduo (INOC)	24	16,57	0,54	3,05	1161,23	0,76	0,48	1,73	0,06	0,07
CEa x RH	2	160,75 ^{**}	0,25 ^{ns}	1,87 ^{ns}	2864,11 ^{ns}	0,33 ^{ns}	9,16 ^{**}	10,06 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,11 [*]
CEa x INOC	1	149,91 ^{**}	0,004 ^{ns}	0,0007 [*]	2064,59 ^{ns}	6,48 ^{**}	12,67 ^{**}	37,30 ^{ns}	0,33 [*]	0,04 ^{ns}
RH x INOC	2	0,24 [*]	0,16 ^{ns}	0,27 ^{ns}	5769,978 [*]	0,64 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,15 ^{ns}
CEa x RH x INOC	2	70,49 [*]	1,42 ^{ns}	4,56 ^{ns}	654,36 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,99 ^{ns}	1,43 ^{ns}	0,33 [*]	0,35 [*]
CV (%) – CEa		5,46	9,49	12,68	5,47	12,29	12,36	10,75	1,86	13,64
CV (%) – RH		4,05	7,97	12,08	8,41	14,31	13,02	10,18	3,83	18,24
CV (%) – INOC		4,20	8,95	13,37	9,18	17,30	9,32	10,52	4,61	23,28

FV: Fonte de variação; GL: Graus de liberdade; CV (%): Coeficiente de variação; *, **, ns – Significativo a $p \leq 0,05$, $p \leq 0,01$ e não significativo, respectivamente

Verifica-se que a altura de plantas de milho sob menor condutividade elétrica ($0,3 \text{ dS m}^{-1}$) associada a irrigação plena (100%), foi superior independente da presença ou ausência de inoculação, porém sob irrigação com 75% da ETc, as plantas inoculadas diferiram estatisticamente das não inoculadas com maiores valores (97,44 cm). De maneira similar, sob irrigação com água de maior salinidade ($3,0 \text{ dS m}^{-1}$) houve diferença significativa apenas no regime hídrico de 75%, onde as plantas inoculadas obtiveram as maiores médias (100,73 cm) (Figura 2).

Figura 2. Altura de plantas de milho sob diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação, regimes hídricos com e sem inoculação.



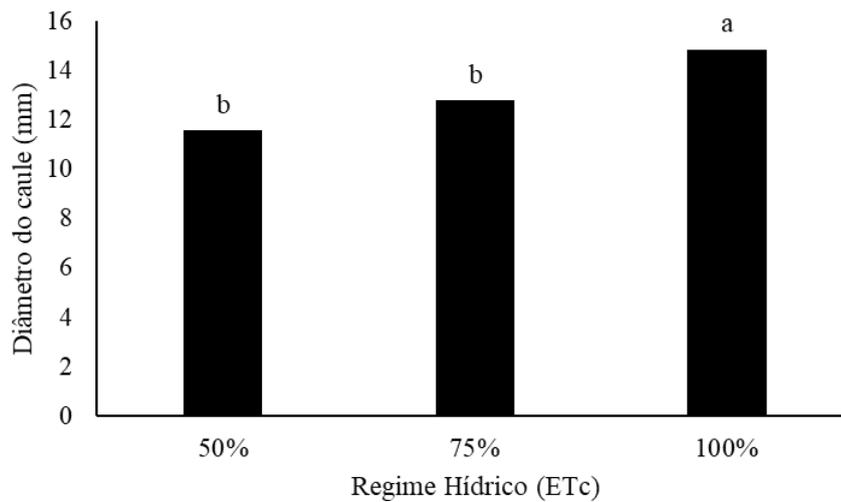
Fonte: Autores (2023). Letras maiúsculas comparam médias entre plantas sem e com inoculante em uma mesma condutividade elétrica e regime hídrico pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Pode-se observar que sob déficit moderado (75%) as plantas de milho foram superiores em altura a partir da utilização de *Bacillus aryabhattai*, independente da qualidade da água utilizada, indicando efeito benéfico sob o déficit hídrico. As bactérias rizosféricas apresentam efeitos benéficos em diferentes culturas, possuindo diversos mecanismos de contribuição para mitigação do estresse hídrico, principalmente relacionada na potencialização das atividades fito-hormônios (ácido abscísico, giberilinas, citocininas e auxinas) (BULGARELLI et al., 2013; KAVAMURA et al., 2013).

Efeito atenuante do estresse hídrico em milho através de bactérias do gênero *Bacillus* sp. também foi reportada por Kamamura, (2012), em condições de fornecimento hídrico reduzido (30% da capacidade de campo), plantas inoculadas foram superiores em altura cerca de 27,29%, em relação as não inoculadas. Oliveira et al. (2020) observaram que a lâminas de irrigação ótima (100%) influenciou positivamente a altura das plantas de milho em comparação as lâminas de menor percentagem 50 e 75%.

Conforme a Figura 3 observa-se que entre os regimes hídricos RH1 e RH2 o diâmetro do caule não difere estaticamente entre si com menores valores (11,55 e 12,77 mm, respectivamente), já o regime hídrico de 100% resultou em maiores diâmetros (14,85 mm). As condições hídricas ideais contribuem para a pressão de turgor, permitindo às células vegetais desenvolverem pressões hidrostáticas internas nas paredes celulares que são essenciais para a expansão celular, por outro lado, o déficit hídrico inibe principalmente a expansão foliar e o crescimento do caule devido à redução na pressão (TAIZ et al., 2017).

Figura 3. Diâmetro do caule de plantas de milho sob diferentes regimes hídricos.

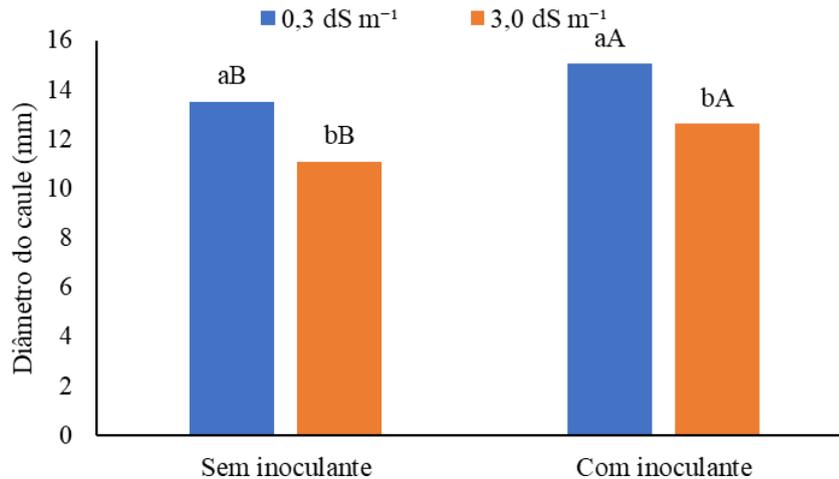


Fonte: Autores (2023). Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Esse resultado assemelha-se ao de Oliveira et al. 2020, ao utilizarem lâminas de 50%, 75%, 100% e 125% da ETc, onde maior diâmetro do colmo de milho verde (11,72 mm) foi obtido utilizando a maior lâmina.

O diâmetro do caule foi estatisticamente superior a partir da associação entre água de melhor qualidade ($0,3 \text{ dS m}^{-1}$) e a inoculação, com média de 15,04 mm, já a partir do uso de água salobra o diâmetro do caule foi inferior independente da ausência ou presença de inoculação, porém com valores superiores nas plantas inoculadas em comparação direta (12,61 mm) (Figura 4).

Figura 4. Diâmetro do caule de plantas de milho sob diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação com e sem inoculação.



Fonte: Autores (2023). Letras minúsculas comparam as médias dos níveis de CEA em cada tipo de inoculação, e letras maiúsculas comparam as médias dos tipos de inoculação em cada CEA pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

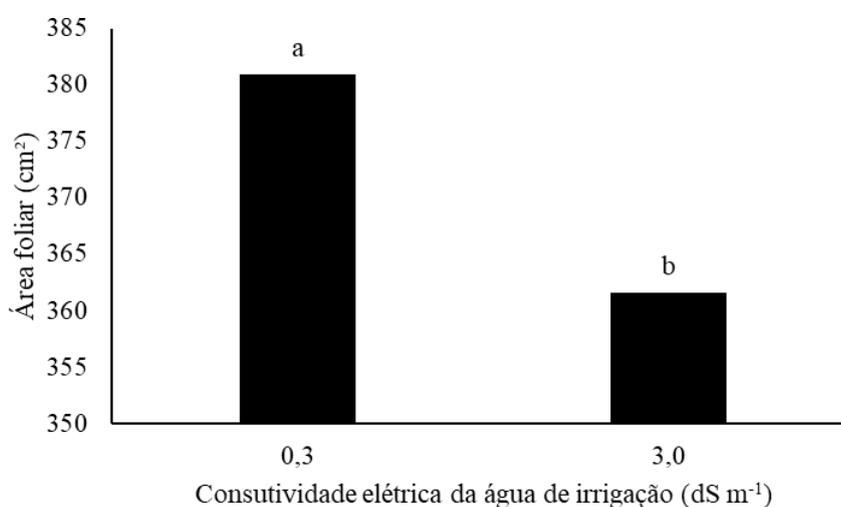
Os efeitos deletérios da salinidade na absorção de água e nutrientes pelas plantas causaram uma diminuição no diâmetro do caule. Porém sob utilização de *Bacillus aryabhatai*, ocorreu uma atenuação de tais efeitos, possivelmente a inoculação com a presente rizobactéria mitigou os efeitos de ordem osmótica impostos pelo estresse salino, através de mudanças bioquímicas na planta ou rizosfera, incrementando a fisiologia das plantas expostas, facilitando a absorção de água (LESSA et al., 2022; MAY et al., 2021).

Estudando diferentes condutividades elétricas da água (0,2, 1,3, 2,6, 3,9 e 5,2 dS m⁻¹) Ricardi e Rosa (2018), observaram redução linear do diâmetro do colmo de milho, com o aumento da salinidade da água de irrigação. Resultados semelhantes foram observados por Sá et al., (2018) quando registraram que o uso de água salina até 30 DAS, reduziu negativamente o diâmetro do caule da cultura do feijão-caupi.

Pode-se observar, que a área foliar difere estaticamente entre os níveis de condutividade elétrica da água de irrigação com média superior a partir da irrigação com água de menor condutividade (0,3 dS m⁻¹ = 380,97 cm²) (Figura 5). A redução do alongamento foliar, é um

mecanismo de sobrevivência e conservação de água, onde sob condições de estresse as plantas fecham os estômatos e reduzem o mecanismo de transpiração. Além disso os efeitos de ordem osmótica interferem diretamente na absorção de água pelas plantas (SOUSA et al., 2021; SOUZA et al., 2019).

Figura 5. Área foliar de plantas de milho sob diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação.

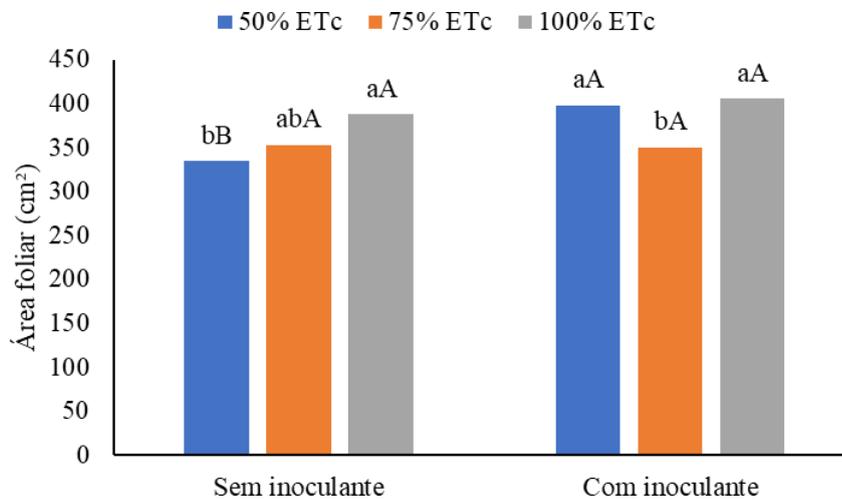


Fonte: Autores (2023). Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Oliveira et al. (2016) alcançaram resultados semelhantes, trabalhando com milho-pipoca irrigado, em que no maior nível salino ($4,5 \text{ dS m}^{-1}$) a área foliar sofreu redução significativa de 19,9% em relação ao menor nível salino ($0,5 \text{ dS m}^{-1}$). Trabalhando com a cultura do Girassol, Amaral et al. (2019) obtiveram redução da área foliar de 31,23% sob estresse salino (3 dS m^{-1}).

Conforme apresentado na Figura 6, a área foliar foi inferior estatisticamente a partir da associação entre o regime hídrico de 50% sem a presença do inoculante ($334,47 \text{ cm}^2$), porém, sob o mesmo nível a partir da inoculação a média foi superior estatisticamente ($398,19 \text{ cm}^2$), os demais regimes não diferiram entre as inoculações.

Figura 6. Área foliar de plantas de milho sob diferentes regimes hídricos com e sem inoculante.



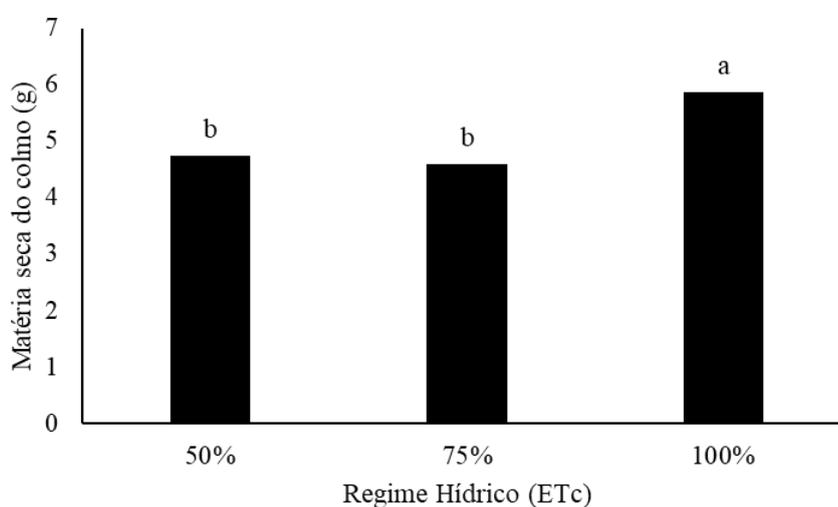
Fonte: Autores (2023). Letras minúsculas comparam as médias dos níveis de CEa em cada tipo de inoculação, e letras maiúsculas comparam as médias dos tipos de inoculação em cada CEa pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Esse resultado reflete o comportamento das plantas submetidas ao estresse hídrico, ou seja, tendem a reduzir sua área foliar como mecanismo para reduzir as perdas de água por transpiração, uma vez que a capacidade de absorção hídrica das plantas é diretamente afetada pelo conteúdo de água no solo (SONG et al., 2019; TAIZ et al., 2017). Porém, a utilização de inoculantes possivelmente aumentou a colonização no solo, aderindo-se a raiz, aumentando a umidade e melhorando a relação solo aderente à raiz/tecido radicular, promovendo maior resistência ao estresse hídrico e consequentemente maior desenvolvimento da área foliar (NIU et al., 2018).

Naseem e Bano (2014), avaliando sementes de milho tratadas com cepas bacterianas produtoras de exopolissacarídeos, observaram incremento do teor de umidade do solo, e maior área foliar.

Verifica-se que a matéria seca do colmo apresentou maior resultado sob regime hídrico de 100% (5,87 g), diferindo estatisticamente dos demais, que não apresentaram diferença significativa entre si (Figura 7). Taiz et al. (2017) correlacionam diretamente a disponibilidade hídrica com o desenvolvimento da planta, esses mesmos autores afirmam que um decréscimo na disponibilidade de água tem efeito negativo direto no crescimento, que por sua vez tende a reduzir a biomassa da planta.

Figura 7. Matéria seca do colmo de plantas de milho sob diferentes de regimes hídricos.

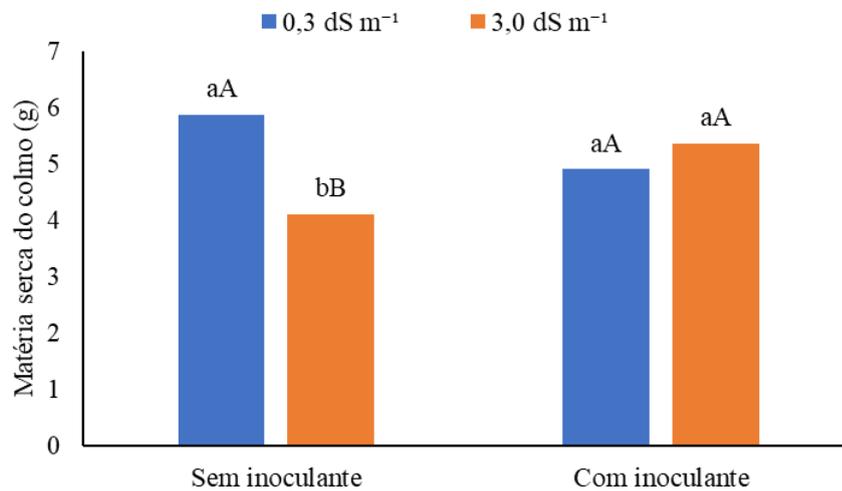


Fonte: Autores (2023). Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Resultado semelhante foi obtido por Brito et al. (2013), onde verificaram maior acúmulo de matéria seca no colmo do milho doce, com o aumento das lâminas de irrigação, com incremento unitário de 47,55% para cada aumento de 20% na lâmina de irrigação.

A matéria seca do colmo de plantas não inoculadas foi superior a partir da utilização da água de menor salinidade ($0,3 \text{ dS m}^{-1}$), já sob a presença do inoculante não ocorreu diferença entre os níveis de CEA, porém sob estresse salino a matéria seca do colmo das plantas inoculadas foi superior em comparação direta à sem inoculante. (Figura 8).

Figura 8. Matéria seca do colmo de plantas de milho sob diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação, com e sem inoculante.



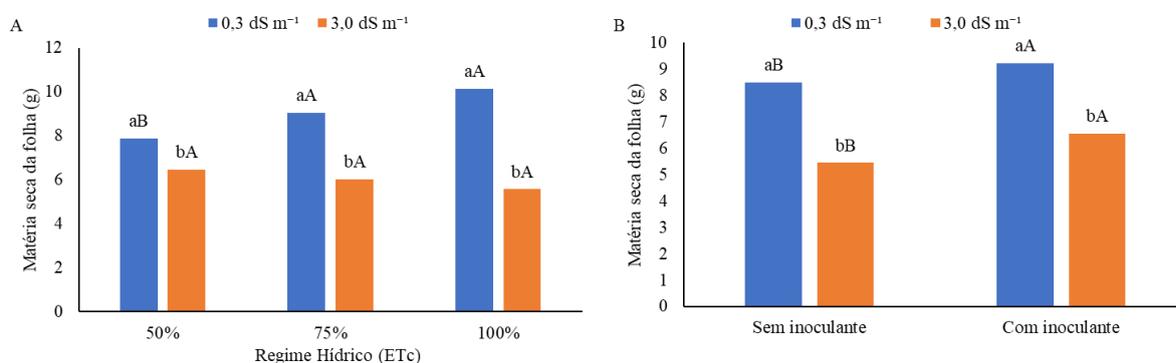
Fonte: Autores (2023). Letras minúsculas comparam as médias dos níveis de CEA em cada tipo de inoculação, e letras maiúsculas comparam as médias dos tipos de inoculação em cada CEA pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

O estresse salino induzido pela irrigação pode levar a distúrbios progressivos, como estresses osmótico, nutricional e tóxico, afetando processos fisiológicos e morfológicos, consequentemente afetando os componentes da biomassa, contudo, as rizobactérias atuam na proteção das plantas, exibindo características promotoras do desenvolvimento, podendo refletir diretamente na biomassa, sugerindo assim, atenuação do estresse salino (BARBOSA et al., 2021; NIU et al., 2018).

Tendência semelhante foi observada por Sousa et al. (2021b), com cepas de *Bacillus* tropicais, esses autores perceberam aumento da matéria seca do colmo, a partir da inoculação das plantas. Já Oliveira et al. (2016) encontraram redução na biomassa seca do colmo de milho, a partir da irrigação com água salobra de 4,5 dS m⁻¹.

Verifica-se na Figura 9A que independente do regime hídrico utilizado a irrigação com água de menor condutividade elétrica proporcionou os maiores resultados, 7,88, 9,05 e 10,14 g para os níveis de 50%, 75% e 100% da Etc respectivamente, em comparação ao maior nível salino, sendo que nos maiores níveis de irrigação (75 e 100%) os valores foram estatisticamente superiores ao menor nível (50%). A interação entre estresses hídricos e salinos ao longo do ciclo da cultura, acarreta menor utilização de fotoassimilados, para a formação do aparelho fotossintético e conseqüentemente menor translocação de fotoassimilados nas folhas, afetando diretamente a biomassa das plantas (SOUSA et al., 2021a; SOUZA et al., 2019).

Figura 9. Matéria seca da folha de plantas de milho sob diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação e regimes hídricos (A); e sob sob diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação com e sem inoculante (B).



Fonte: Autores (2023). Letras minúsculas comparam as médias dos níveis de CEA em cada tipo de regime hídrico e inoculação, e letras maiúsculas comparam as médias dos tipos de regimes hídricos e inoculação em cada CEA pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Avaliando a influência dos estresses hídrico e salino no desempenho agrônomo de girassol, Amaral et al., (2019) também verificaram redução em cerca de 50% da matéria seca da folha.

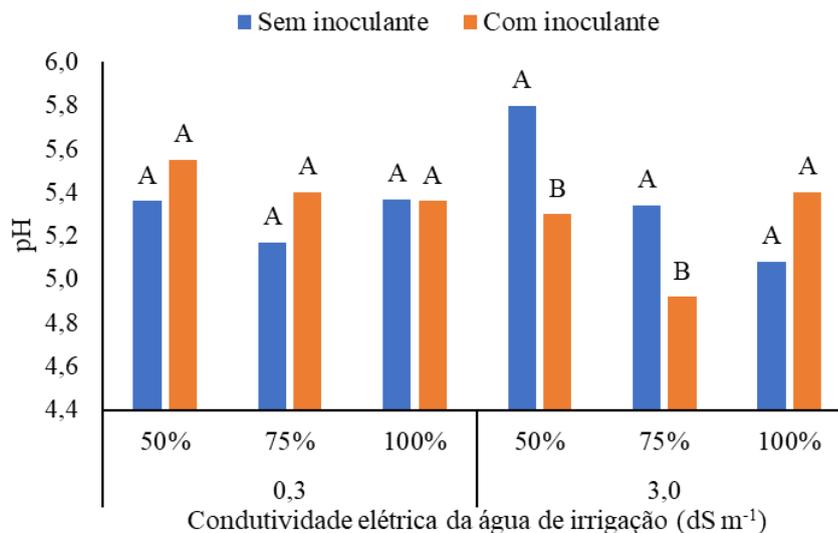
A matéria seca das folhas foi reduzida a partir da utilização da água salobra ($3,0 \text{ dS m}^{-1}$) independente da inoculação, porém na presença do inoculante, a média foi estatisticamente superior ($6,56 \text{ g}$). A partir da utilização de água de baixa salinidade a presença do inoculante proporcionou também os maiores valores ($9,23 \text{ g}$) (Figura 9B).

O decréscimo justifica-se pela irrigação com água salobra, uma vez que os sais presentes na água de irrigação inibem a translocação e síntese de hormônios essenciais para o crescimento vegetal consequentemente diminuindo a produção de biomassa, porém com menor intensidade na presença de inoculante devido a ajustes bioquímicos e fisiológicos proporcionado pelas rizobactérias presentes (SÁ et al., 2018; SOUSA et al., 2021b).

Resultado semelhante foi obtido por Olivera et al. (2016), ao irrigarem a cultura do milho com CEa de $4,5 \text{ dS m}^{-1}$, esses autores observaram redução de 44% em relação a menor salinidade ($0,6 \text{ dS m}^{-1}$).

O potencial hidrogeniônico do solo apresentou variação significativa apenas sob os regimes hídricos de 50% e 75% a partir da irrigação com água salina ($3,0 \text{ dS m}^{-1}$) e utilização do microrganismo, com valores de 5,3 e 4,92 respectivamente, sendo estes inferiores estatisticamente (Figura 10).

Figura 10. pH do solo sob diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação, regimes hídricos com e sem inoculação.

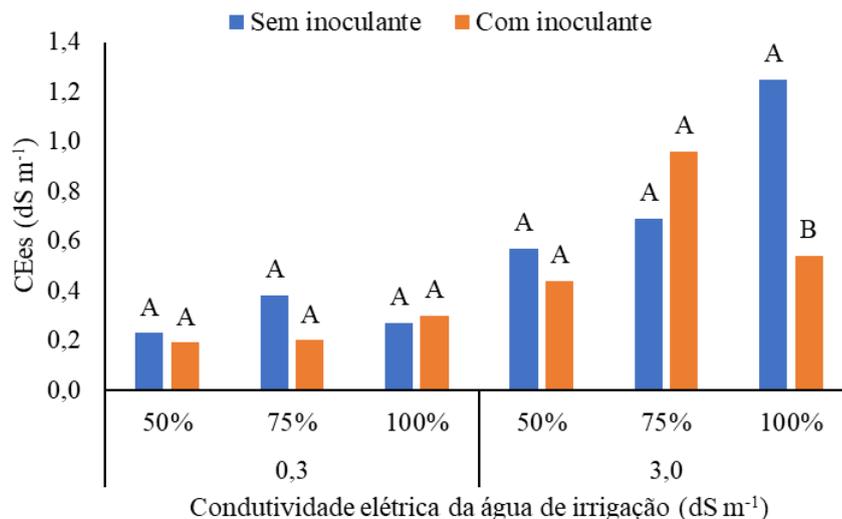


Fonte: Autores (2023). Letras maiúsculas comparam médias entre plantas sem e com inoculante em uma mesma condutividade elétrica e regime hídrico pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Essa variação observada nos tratamentos com a presença de inoculantes, está associada a produção e liberação de ácidos orgânicos pelas rizobactérias promotoras de crescimento de plantas, ocasionando ao solo um maior poder tampão (KAVAMURA, 2012). Vale ressaltar que a presença em excesso de sódio e bicarbonatos na água de irrigação pode elevar o pH do solo (LESSA et al. 2022). Redução do pH a partir da utilização de rizobactéria do gênero *Bacillus* é reportada por Chen et al. (2006).

Conforme apresentado na Figura 11, o extrato de saturação do solo, teve sua condutividade elevada a partir da irrigação com água de maior salinidade (3,0 dS m⁻¹), porém, apresentando diferença significativa apenas no regime hídrico de 100% na ausência de inoculante com diferença superior de 131% para o tratamento na presença de inoculante.

Figura 11. Condutividade elétrica de extrato de saturação do solo (CEes) sob diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação, regimes hídricos com e sem inoculação.



Fonte: Autores (2023). Letras maiúsculas comparam médias entre plantas sem e com inoculante em uma mesma condutividade elétrica e regime hídrico pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Vale ressaltar que a irrigação com água 3,0 dS m⁻¹ proporcionou os maiores valores de condutividade elétrica do extrato de saturação para todos os regimes hídricos, inclusive em comparação direta a menor salinidade. Este resultado pode ser justificado pelo elevado teor de sais na água de irrigação utilizada, fazendo com que sejam depositados no solo, aumentando assim consequentemente a CEes (LESSA et al., 2022).

Rodrigues et al. (2018) trabalhando com a cultura do milho, observaram um aumento linear crescente da CEes conforme o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação.

6. CONCLUSÕES

O estresse salino afetou negativamente a altura de plantas, área foliar e diâmetro do colmo. Já o estresse hídrico (50 e 75% da ETc) afetou negativamente a altura de plantas, diâmetro e a matéria seca do colmo e a matéria seca das folhas.

A inoculação com *Bacillus aryabhattai* mitigou os efeitos deletérios dos estresses abióticos (salino e hídrico) nas variáveis altura de plantas, diâmetro do caule, matéria seca do colmo e da folha de plantas de milho.

A irrigação com água salobra (3,0 dS m⁻¹) eleva a condutividade do extrato de saturação do solo independente da lâmina aplicada. E o potencial hidrogeniônico é reduzido a partir da utilização de água salobra e uso de inoculante sob déficit hídrico.

7. REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. DE M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, p.711-728, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Acesso em: 01 Jan. 2023.

AMARAL, A. M., TEIXEIRA, M. B., LOUREIRO SOARES, F. A., CABRAL FILHO, F. R., VIDAL, V. M., MORAIS, W. A.; CAMPOS BASTOS, F. J. Influência do estresse hídrico e da salinidade moderada no crescimento e produção do girassol cv. charrua. **Revista Global Science and Technology**, v.12, n.01, p.14-29, 2019. Disponível em: <https://rv.ifgoiano.edu.br/periodicos/index.php/gst/article/view/1037>. Acesso em: 28 dez 2022.

ARMANHI, J. S. L.; SOUZA, R. S. C.; BIAZOTTI, B. B.; YASSITEPE, J. E. D. C. T.; ARRUDA, P. Modulating drought stress response of maize by a synthetic bacterial community. **Frontiers in Microbiology**, v. 12,747541, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.747541>. Acesso em: 01 Jan. 2023.

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**, v.25, p.485-491, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n7p485-491>. Acesso em: 01 Jan. 2023.

BRITO, M. E. B.; ARAÚJO FILHO, G. D. de A.; WANDERLEY, J. A. C.; MELO, A. S. de; COSTA, F. B. DA; FERREIRA, M. G. P. Crescimento, fisiologia e produção do milho doce sob estresse hídrico. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 29, n. 5, p. 1244-1254, 2013. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/14061>. Acesso em: 10 Dez. 2022.

BULGARELLI, D.; SCHLAEPPI, K.; SPAEPEN, S.; VAN THEMAAT, E. V. L.; SCHULZE-LEFERT, P. Structure and functions of the bacterial microbiota of plants. **Annual Review of Plant Biology**, v. 64, p. 807-838, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050312-120106>. Acesso em: 01 Jan. 2023.

CAVALCANTE JÚNIOR, R. G.; FREITAS, M.A.V.; SILVA, N.F.; AZEVEDO FILHO, F. R. Sustainable groundwater exploitation aiming at the reduction of water vulnerability in the Brazilian semi-arid region. **Energies** v. 12, p. 904, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/em12050904>. Acesso em: 02 Jan. 2023.

CHEN, Y. P.; REKHA, P. D.; ARUN, A. B. Phosphate solubilizing bacteria from subtropical soil and their tricalcium phosphate solubilizing abilities. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 34, p. 33-41, 2006.
<https://www.researchgate.net/publication/222548869> Phosphate solubilizing bacteria from subtropical soil and their tricalcium phosphate solubilizing abilities. Acesso em: 04. fev.2022.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Safra Brasileira de Grãos: Boletim de grãos 2019/2020**. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-estimativa-de-evolucao-graos.html>. Acesso em: 05 Jan. 2023.

DANTAS JUNIOR, E. E.; CHAVES, L. H. G.; FERNANDES, J. D. Lâminas de irrigação localizada e adubação potássica na produção de milho verde, em condições semiáridas. **Revista Espacios**, v. 37, p.1-9, 2016. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com/a16v37n27/16372727.html>. Acesso em: 02 Jan. 2023.

OLIVEIRA, E. J.; MELO, H. C. DE; TRINDADE, K. L.; GUEDES, T. DE M.; SOUSA, C. M. Morfofisiologia e produção de milho-verde cultivado sob diferentes lâminas de água e doses de nitrogênio nas condições do cerrado goiano, Brasil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, e6179108857, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i10.8857>. Acesso em: 02 Jan. 2023.

FERNANDES, V. L. B. **Recomendações de adubação e calagem para o estado do Ceará**. Fortaleza: UFC, 1993. 248p.

FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do milho**. Jaboticabal: FUNEP, 2007. 576 p

KAVAMURA, Vanessa Nessner. **Bactérias associadas às cactáceas da Caatinga: promoção de crescimento de plantas sob estresse hídrico**. 2012. 244f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) -Programa de Pós-Graduação em Microbiologia Agrícola, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

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. de. Screening of Brazilian cacti rhizobacteria for plant growth promotion under drought. **Microbiological Research**, v.168, 183-191, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2012.12.002>. Acesso em: 03 Jan. 2023.

LACERDA, C. F.; FERREIRA, J. F. S.; SUAREZ, D. L.; FREITAS, E. D.; LIU, X.; RIBEIRO, A. A. Evidence of nitrogen and potassium losses in soil columns cultivated with maize under salt stress. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.22, n.8, p.553-557, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n8p553-557>. Acesso em: 02 Jan. 2023.

LESSA, C. I. N.; SOUSA, G. G. DE; SOUSA, H. C.; PEREIRA FILHO, J. V.; GOES, G. F. Salt stress in the early development stage of peanut genotypes. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 21, n. 4, p. 441-448, 2022. Disponível em: <https://www.revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/download/22081/14918/91016>. Acesso em: 15 Dez 2022

LOPES, J. R. F.; DANTAS, M. P.; FERREIRA, F. E. P. Identificação da influência da pluviometria no rendimento do milho no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.13, p.3610-3618, 2019. <https://doi.org/10.7127/RBAI.V13N5001119>. Acesso em: 02 Jan. 2023.

MAY, A.; SANTOS, M. de S.; SILVA, E. H. F. M. da; VIANA, R. da S.; VIEIRA JUNIOR, N. A.; RAMOS, N. P.; MELO, I. S. de. Effect of *Bacillus aryabhatai* on the initial establishment of pre-sprouted seedlings of sugarcane varieties. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, p.1-9, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i2.12337>. Acesso em: 02 Jan. 2023.

NASEEM, H.; BANO, A. Role of plant growth-promoting rhizobacteria and their exopolysaccharide in drought tolerance of maize. **Journal of Plant Interactions**, v. 9, n. 1, p. 689-701, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/17429145.2014.902125>. Acesso em: 02 Jan. 2023.

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**, v. 8, article 2580, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02580>. Acesso em: 02 Jan. 2023.

OLIVEIRA, F de A.; MEDEIROS, J. F. de.; CUNHA, R. C. da; SOUZA, M. W. de L.; LIMA, L. A. Uso de bioestimulante como agente amenizador do estresse salino na cultura do milho pipoca. **Revista Ciência Agrônômica**. v.47, p.307-315, 2016. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Uso-de-bioestimulante-como-agente-amenizador-do-na-Oliveira-Medeiros/82373eab40fc6a3a9ba59f4766a8ce2b42e8e143>. Acesso em 12 Dez. 2022

POUDEL, M.; MENDES, R.; COSTA, L. A. S.; BUENO, C. G.; MENG, Y.; FOLIMONOVA, S. Y.; GARRETT, K. A.; MARTINS, S. J. The role of plant-associated bacteria, fungi, and viruses in drought stress mitigation. **Frontiers in Microbiology**, v. 12, 743512, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.743512>. Acesso em: 02 Jan. 2023.

RICARDI, M.; ROSA, H. A. Desenvolvimento inicial do milho submetido a estresse salino. **Revista Cultivando o Saber**, v. 1, p.174-184, 2018. Disponível em: https://www.fag.edu.br/upload/revista/cultivando_o_saber/5c1183c0d05f0.pdf. Acesso em: 01 Jan. 2023.

RICHARDS, L.A. 1954. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. US Department of Agriculture, Washington, USA. 160 p.

RODRIGUES, V. dos S.; BEZERRA, F. M. L.; SOUSA, G. G.; FIUSA, J. N.; LEITE, K. N.; VIANA, T. V de. A. Produtividade da cultura do milho irrigado com águas salinas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.24, p.101-105, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n2p101-105>. Acesso em: 03 Jan. 2023.

SÁ, F.; FERREIRA NETO, M.; LIMA, Y.; PAIVA, E.; PRATA, R.; LACERDA, C.; BRITO, M. Growth, gas exchange and photochemical efficiency of the cowpea bean under salt stress and phosphorus fertilization. **Comunicata Scientiae**, v. 9, n. 4, p. 668-679, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.14295/cs.v9i4.2763>. Acesso em: 03 Jan. 2023.

SAH, R. P.; CHAKRABORTY, M.; PRASAD, K.; PANDIT, M.; TUDU, V. K.; CHAKRAVARTY, M. K.; NARAYAN, S. C.; RANA, M.; MOHARANA, D. Impact of water deficit stress in maize: Phenology and yield components. *Scientific Reports*, v. 10, p. 2944, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59689-7> Acesso em: 03. Mar. 2021.

SILVA, F. de A. S.; AZEVEDO, C. A. V. de. The Assisat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agriculture Research**, v.11, p.3733-3740, 2016. Disponível em: <https://academicjournals.org/journal/AJAR/article-full-text-pdf/5E8596460818>. Acesso em: 01 Jan. 2023

SONG, L.; JIN, J.; HE, J. Effects of Severe Water Stress on Maize Growth Processes in the Field. **Sustainability**, v.11, n.18, 5086, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su11185086>. Acesso em: 05 Jan. 2023.

SOUSA, H. C.; SOUSA, G. G.; LESSA, C. I. N.; LIMA, A. F. S.; RIBEIRO, R. M. R.; RODRIGUES, F. H. C. Growth and gas exchange of corn under salt stress and nitrogen doses. **Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 25, 3, p.174-181, 2021a. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n1p3-9>. Acesso em: 10 Jan. 2023.

SOUSA, S. M, DE OLIVEIRA, C. A, ANDRADE, D. L.; CARVALHO, C. G. DE; RIBEIRO, V. P.; PASTINA, M. M.; MARRIEL, I. E.; LANA, U. G. DE P.; GOMES, E. A. P. Tropical Bacillus Strains Inoculation Enhances Maize Root Surface Area, Dry Weight, Nutrient Uptake and Grain Yield. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 40, 867–877, 2021b. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10146-9>. Acesso em: 04 Jan. 2023.

SOUZA, L. S. B. de; MOURA, M. S. B. de; SEDIYAMA, G. C.; SILVA, T. G. F. da. Requerimento hídrico e coeficiente de cultura do milho e feijão-caupi em sistemas exclusivo e consorciado. **Revista Caatinga**, v.28, p.151-160, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-21252015v28n417rc>. Acesso em: 04 Jan. 2023.

SOUZA, M. V. P. de SOUSA, G. G. de; SALES, J. R. S.; FREIRE, M. H. da C.; SILVA, G. L. DA; VIANA, T. V. de A. Água salina e biofertilizantes de esterco bovino e caprino na salinidade do solo, crescimento e fisiologia da fava. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v.14, p.340-349, 2019.

SUDENE – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Nova delimitação do semiárido**. 2017. Disponível em: http://antigo.sudene.gov.br/images/arquivos/semiarido/arquivos/Rela%C3%A7%C3%A3o_de_Munic%C3%Adpios_Semi%C3%A1rido.pdf. Acesso em: 05 Jan. 2023.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858p