



## RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DE MILHO INOCULADO SOB ESTRESSES SALINO E HÍDRICO

Henderson Castelo Sousa<sup>1</sup>, Geocleber Gomes de Sousa<sup>2</sup>, Thales Vinícius de Araújo Viana<sup>3</sup>,  
Carla Ingrid Nojosa Lessa<sup>4</sup>, Ebinezer Pedrinho Monteiro<sup>5</sup>, Rafaella da Silva Nogueira<sup>6</sup>

**RESUMO:** Objetivou-se avaliar as trocas gasosas da cultura do milho inoculada com *Bacillus aryabhatai*, submetida aos estresses hídrico e salino. O experimento foi realizado em condições de campo no período de agosto a outubro de 2022, na Fazenda Experimental Piroás, pertencente à Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, em Redenção-CE. O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, em esquema de parcela subdivididas, com seis repetições. As parcelas corresponderam a duas condutividades elétricas da água de irrigação (CEa): 0,3 dS m<sup>-1</sup>, e 3 dS m<sup>-1</sup>. 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*. Aos 49 dias após a semeadura (DAS) foram avaliadas as seguintes variáveis: fotossíntese, condutância estomática e transpiração. A inoculação com *Bacillus aryabhatai*, incrementou a fotossíntese na ausência de estresses, e a condutância estomática sob estresse hídrico. A transpiração sob estresse salino é reduzida quando aplicado regime hídrico de 50%.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Zea Mays*, *Bacillus aryabhatai*, Estresses abióticos.

## PHYSIOLOGICAL RESPONSES OF INOCULATED MAIZE UNDER SALINE AND WATER STRESS

**ABSTRACT:** The objective was to evaluate the gaseous exchanges of maize inoculated with *Bacillus aryabhatai*, subjected to water and saline stress. The experiment was carried out under

<sup>1</sup> Eng. Agrônomo, Doutorando, Depto. de Engenharia Agrícola, UFC, Fortaleza-CE. Fone (85) 99710-3883. E-mail: castelohenderson@gmail.com

<sup>2</sup> Prof. Dr., Instituto de Desenvolvimento Rural – UNILAB, Redenção-CE

<sup>3</sup> Prof. Dr., Depto. de Engenharia Agrícola, UFC, Fortaleza-CE

<sup>4</sup> Eng. Agrônoma, Doutoranda, Depto. de Engenharia Agrícola, UFC, Fortaleza-CE

<sup>5</sup> Eng. Agrônomo, Instituto de Desenvolvimento Rural – UNILAB, Redenção-CE

<sup>6</sup> Profa. Dra., Instituto de Desenvolvimento Rural – UNILAB, Redenção-CE

field conditions from August to October 2022, at the Fazenda Experimental Piroás, belonging to the Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, in Redenção-CE. The experimental design adopted was randomized blocks, in a sub-subdivided plot scheme, with six replications. The plots corresponded to two electrical conductivities of irrigation water (EC<sub>w</sub>): 0.3 dS m<sup>-1</sup>, and 3 dS m<sup>-1</sup>. The subplots at three irrigation depths: ID1= 50%; ID2= 75% and ID3= 100% of crop evapotranspiration (ET<sub>c</sub>). The subsubplots were constituted by the presence and absence of the inoculant *Bacillus aryabhatai*. At 49 days after sowing (DAS), the following variables were evaluated: photosynthesis, stomatal conductance, and transpiration. Inoculation with *Bacillus aryabhatai* increased photosynthesis in the absence of stress, and stomatal conductance under water stress. Sweating under saline stress is reduced when a 50% water regime is applied.

**KEYWORDS:** *Zea Mays*, *Bacillus aryabhatai*, Abiotic stress.

## INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) possui grande importância econômica no Brasil, sendo um dos principais cereais produzidos, com ênfase na alimentação humana e animal (DANTAS JUNIOR et al., 2016). A cultura expandiu-se gradativamente para regiões áridas e semiáridas, onde ajuda a resolver problemas relacionados à segurança alimentar em locais com recursos hídricos limitados (SONG et al., 2019).

Devido a características favoráveis (temperaturas elevadas, alta evapotranspiração e elevada variação espaço-temporal na pluviosidade) as regiões semiáridas apresentam, problemas inerentes a escassez hídrica e presença de águas de qualidade inferior (salobras) (CAVALCANTE JÚNIOR et al., 2019; RODRIGUES et al., 2021).

Os estresses hídrico e salino, são fatores que afetam o crescimento, desenvolvimento e metabolismo das culturas, devido aos componentes osmóticos e tóxicos, limitando severamente a produção agrícola (SOUZA et al., 2019; SOUSA et al., 2021).

Como alternativa para diminuir os impactos na produção, pesquisadores estão buscando a utilização de inoculantes microbianos formulados com bactérias promotoras do crescimento de plantas (ARMANHI et al., 2021). Esses microrganismos podem oferecer proteção às plantas por meio da manutenção umidade e proporcionar melhor desenvolvimento radicular e fornecimento de nutrientes. (KAVAMURA et al., 2013).

Assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar as trocas gasosas da cultura do milho inoculada com *Bacillus aryabhatai*, submetida aos estresses hídrico e salino.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em condições de campo no período de agosto a outubro de 2022, na Fazenda Experimental Piroás (FEP), pertencente à Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB), localizada no município de Redenção-CE.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, em esquema de parcela subdivididas, com seis 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 ( $3 \text{ dS m}^{-1}$ ). 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*.

A inoculação ocorreu imediatamente antes do plantio, através da semente. O sistema de irrigação utilizado foi do tipo gotejamento, utilizando-se um gotejador por planta. Foram utilizados gotejadores de 4, 6 e 8 L h<sup>-1</sup> com a finalidade de uniformizar o tempo de irrigação, atendendo os regimes hídricos de 50, 75 e 100% da ETc, respectivamente.

A água de abastecimento ( $0,3 \text{ dS m}^{-1}$  - tratamento controle) foi usada na irrigação e no preparo da solução salina ( $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ ) através da adição dos sais de cloreto de sódio (NaCl), cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) e cloreto de magnésio ( $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) nas proporções de 7:2:1 (MEDEIROS, 1992). O manejo da irrigação foi estimado diariamente pela evapotranspiração de referência, usando dados de um tanque evaporimétrico Classe A, e aplicando-se uma fração de lixiviação de 15% (AYERS & WESTCOT, 1999).

Aos 49 DAS, foram realizadas as medições de trocas gasosas, usando a terceira folha totalmente expandida do ápice da planta. A taxa líquida de fotossíntese ( $A$ ,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), condutância estomática ( $g_s$ ,  $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), taxa de transpiração ( $E$ ,  $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), utilizando-se um analisador de gás infravermelho (Li-6400XT, LICOR, EUA).

Os dados após coletados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e a testes de médias pelo teste de Tukey aos níveis de 1% (\*\*\*) e 5% (\*) de probabilidade, utilizando-se o programa computacional Assistat 7.7 Beta (SILVA & AZEVEDO, 2016).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme o resumo da análise de variância (Tabela 1), a taxa fotossintética líquida e a foi significativamente influenciada pela interação entre a condutividade elétrica da água e a inoculação. Por outro lado, a transpiração foi influenciada pela interação CEa × RH. A interação tripla dos fatores ECw × ID × INOC teve uma influência significativa na condutância estomática.

**Tabela 1.** Resumo da análise de variância para fotossíntese (A), condutância estomática (gs) e transpiração (E) em plantas de milho sob diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEa), regimes hídricos (RH) e inoculação (INOC).

Fonte de variação	GL	Quadrado médio		
		A	gs	E
Blocos	5	9,03 <sup>ns</sup>	0,67 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>**</sup>
CEa	1	361,19 <sup>**</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	36,83 <sup>**</sup>
Resíduo (CEa)	5	7,25	0,16	0,00 <sup>**</sup>
Regime hídrico (RH)	2	2,14 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>
Resíduo (RH)	20	8,90	0,14	0,11
Inoculação (INOC)	1	2,13 <sup>ns</sup>	3,60 <sup>**</sup>	0,11 <sup>ns</sup>
Resíduo (INOC)	30	3,13	0,18	0,16
CEa × RH	2	2,86 <sup>ns</sup>	1,46 <sup>**</sup>	0,58 <sup>*</sup>
CEa × INOC	1	6,97 <sup>*</sup>	2,48 <sup>**</sup>	0,47 <sup>ns</sup>
RH × INOC	2	1,88 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>
CEa × RH × INOC	2	0,78 <sup>ns</sup>	2,57 <sup>**</sup>	0,10 <sup>ns</sup>
CV (%) – CEa		11,20	11,85	0,77
CV (%) - RH		12,41	10,04	7,88
CV (%) - INOC		7,37	14,05	9,11

GL - Graus de liberdade; CV (%) - Coeficiente de variação; \*, \*\*, <sup>ns</sup> - Significativo a  $p \leq 0,05$ ,  $p \leq 0,01$  e não significativo, respectivamente.

Observa-se que a taxa fotossintética da cultura do milho foi superior quando submetida a irrigação com água salobra ( $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ ) independentemente do tipo de inoculação (Tabela 2). Este comportamento pode estar atrelado a presença do cloreto de magnésio na água de maior salinidade, tendo em vista que esse elemento é crucial na captação de luz e possui funções fundamentais no processo fotossintético, além de ser componente central da molécula de clorofila que se localiza nos cloroplastos (JAGHDANI et al., 2021).

**Tabela 2.** Taxa fotossintética líquida (A) de plantas de milho sob diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação com e sem inoculação.

Inoculante	A ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	
	0,3 dS $\text{m}^{-1}$	3,0 dS $\text{m}^{-1}$
Sem	20,41 bB	27,25 aA
Com	22,18 bA	26,32 aA

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 ( $p \leq 0,05$ ).

Resultados divergentes foram evidenciados por Sousa et al. (2021) avaliando as trocas gasosas do milho sob irrigação com água salobra em condições de vaso. Em contrapartida, Rodrigues et al. (2021) em condições edafoclimáticas similares ao do presente estudo, verificaram aumento progressivo na taxa fotossintética da cultura do milho quando irrigada com água de condutividade elétrica de até 2,08 dS m<sup>-1</sup>.

Observa-se na Tabela 3, que sob água de menor salinidade, as plantas inoculadas obtiveram maior condutância estomática para os regimes de 50 e 75%, não havendo diferença estatística para o regime de 100% da irrigação plena. Já para o maior nível salino, ocorreu o inverso, plantas com inoculante obtiveram maior condutância apenas para o regime hídrico de 100%, os demais regimes não diferiram estatisticamente entre si. Mishra et al. (2021) descrevem que bactérias promotoras de resistência promovem um aumento significativo de osmoprotetores sob condições de estresse salino, melhorando o potencial hídrico e condutividade hidráulica que afeta positivamente a abertura estomática.

**Tabela 3.** Condutância estomática (gs) de plantas de milho sob diferentes níveis de condutividade elétrica da água de irrigação, regimes hídricos com e sem inoculação.

CEa	Regime hídrico	gs (mol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	
		Sem inoculante	Com inoculante
0,3 dS m <sup>-1</sup>	50%	0,75 B	1,80 A
	75%	0,61 B	1,65 A
	100%	0,74 A	0,85 A
3,0 dS m <sup>-1</sup>	50%	1,20 A	0,70 A
	75%	1,56 A	1,29 A
	100%	0,95 B	1,60 A

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

Resultados similares foram encontrados por Vishnupradeep et al. (2022) trabalhando com a cultura do milho e duas cepas de bactérias promotoras de crescimento, também observaram que as plantas inoculadas conseguiram ajustar-se melhor ao estresse, promovendo uma maior condutância quando comparadas as não inoculadas.

Não houve diferença significativa para transpiração das plantas entre os regimes hídricos quando irrigadas com água de menor salinidade. Já quando se compara o maior nível salino, os regimes de 75 e 100% foram os que promoveram maior transpiração (Tabela 4).

Liao et al. (2022), alertam que ambos os estresses salino e hídrico induzem a um ajuste osmótico, sendo considerado um mecanismo importante para possibilitar a manutenção da absorção de água e do turgor celular sob condições de estresse. Rodrigues et al. (2021),

encontram resultados diferentes com redução na transpiração das plantas de milho, quando aumentou a condutividade elétrica da água de irrigação.

**Tabela 4.** Transpiração (E) de plantas de milho sob diferentes regimes hídricos e níveis de salinidade da água de irrigação.

Regime hídrico	E (mmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	
	0,3 dS m <sup>-1</sup>	3,0 dS m <sup>-1</sup>
50%	3,56 bA	4,94 aB
75%	3,43 bA	5,57 aA
100%	3,55 bA	5,27 aAB

Letras minúsculas comparam as médias dos níveis de CEa em cada regime hídrico, e letras maiúsculas comparam as médias entre regimes hídricos na mesma CEa pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

## CONCLUSÕES

A inoculação com *Bacillus aryabhatai*, incrementou a fotossíntese na ausência de estresses, e a condutância estomática sob estresse hídrico. A transpiração sob estresse salino é reduzida quando aplicado regime hídrico de 50%.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. 2.ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 153 p.
- 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.
- 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.

JAGHDANI, S. J.; JANHNS, P.; TRANKNER, M. The impact of magnesium deficiency on photosynthesis and photoprotection in *Spinacia oleracea*. **Plant Stress**, v. 2, p. 1-11, 2021.

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.

LIAO, Q., GU, S., KANG, S., DU, T., TONG, L., WOOD, J. D. E DING, R. O estresse hídrico e salino brando melhora a eficiência do uso da água, diminuindo a condutância estomática por meio do ajuste osmótico no milho de campo. **Ciência do Meio Ambiente Total**, v. 805, p. 150364, 2022.

MEDEIROS, J. F. **Qualidade da água de irrigação utilizada nas propriedades assistidas pelo "GAT" nos Estados do RN, PB, CE e avaliação da salinidade dos solos**. 173f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Paraíba, 1992.

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**, v. 252, p. 126861, 2021.

RODRIGUES, V. D. S., SOUSA, G. G. D., SOARES, S. D. C., LEITE, K. N., CEITA, E. D., SOUSA, J. T. M. D. Gas exchanges and mineral content of corn crops irrigated with saline water. **Revista Ceres**, v. 68, p. 453-459, 2021.

SILVA, F. DE A. S.; AZEVEDO, C. A. V. DE. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agriculture Research**, v.11, p.3733-3740, 2016.

SONG, L.; JIN, J.; HE, J. Effects of Severe Water Stress on Maize Growth Processes in the Field. **Sustainability**, v.11, p.5086, 2019.

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**, v.25, p.174-181, 2021.

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.

VISHNUPRADEEP, R.; BRUNO, L. B.; TAJ, Z.; KARTHIK, C.; CHALLABATHULA, D.; KUMAR, A., FREITAS, H.; RAJKUMAR, M. Bactérias promotoras do crescimento vegetal melhoram o potencial de crescimento e fitoestabilização de *Zea mays* sob cromo e estresse hídrico, alterando as respostas fotossintéticas e antioxidantes. **Tecnologia Ambiental e Inovação**, v. 25, p. 102154, 2022.