

EFEITO DO *SEED PRIMING* COM NANOPARTÍCULAS DE ZINCO NA FITOMASSA DO MILHO IRRIGADO COM ÁGUAS SALOBRAS

Lucyelly Dâmela Araújo Borborema¹, Ronaldo do Nascimento², Allesson Ramos de Souza³,
Anna Rebeca Silva Nóbrega³, Denis Soares Costa³, Josinaldo Lopes Araujo Rocha⁴

RESUMO: O Nordeste brasileiro possui recorrente escassez hídrica, em que as águas salobras são frequentemente utilizadas para irrigação das culturas. No entanto, o uso desse tipo de água pode causar danos às plantas, proporcionando uma redução do potencial osmótico, à medida em que aumenta o nível de sais nas águas. Nesse contexto, objetivou-se avaliar o efeito do *seed priming* com nanopartículas de óxido de zinco no acúmulo de fitomassa em plantas de milho submetidas a estresse salino. Os tratamentos foram constituídos por dois níveis de condutividade elétrica de irrigação (0,4 e 3,0 dS m⁻¹) e seis concentrações de nano partículas de óxido de zinco (0; 50; 100; 150; 200 e 250 mg L⁻¹), distribuídos em delineamento de blocos casualizados em esquema fatorial de 2 x 6, com quatro repetições e uma planta por parcela. Em condições de baixa salinidade (0,4 dS m⁻¹), o aumento das concentrações de NPZnO reduziu a fitomassa da parte aérea (FSF) e da raiz (FSR). Já sob alta salinidade (3,0 dS m⁻¹), concentrações intermediárias (131 e 110,5 mg L⁻¹) promoveram ganhos significativos. Além disso, a razão raiz parte aérea (R/PA) variou conforme a dose.

PALAVRAS-CHAVE: Estresse abiótico; elicitor; salinidade.

ACCUMULATION OF MAIZE PHYTOMASS UNDER SALINE STRESS AND *SEED PRIMING* WITH ZINC OXIDE NANOPARTICLES

ABSTRACT: The Brazilian Northeast experiences recurrent water scarcity, where saline water is frequently used for crop irrigation. However, the use of this type of water can cause damage to plants by reducing the osmotic potential as the salt concentration in the water increases. In this context, the objective of this study was to evaluate the effect of *seed priming* with zinc

¹ Msc. em Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB. Fone: (83) 99954-2268. e-mail: lucyellyd@gmail.com.

² Prof. Doutor, Depto de Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande, PB.

³ Msc em Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB.

⁴ Prof. Doutor, Depto de Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande, PB.

oxide nanoparticles on biomass accumulation in maize plants subjected to salt stress. The treatments consisted of two irrigation water electrical conductivity levels (0.4 and 3.0 dS m⁻¹) and six concentrations of zinc oxide nanoparticles (0, 50, 100, 150, 200, and 250 mg L⁻¹), arranged in a randomized block design in a 2 × 6 factorial scheme, with four replications and one plant per plot. Under low salinity conditions (0.4 dS m⁻¹), increasing ZnO NP concentrations reduced shoot and root biomass. Under high salinity (3.0 dS m⁻¹), intermediate concentrations (131 and 110.5 mg L⁻¹) resulted in significant biomass gains. In addition, the root-to-shoot ratio varied depending on the applied dose.

Keywords: Abiotic stress; elicitor; salinity.

INTRODUÇÃO

O milho é o cereal de maior destaque no Brasil, com grande relevância econômica e social, sendo essencial para a alimentação, o agronegócio e aplicações industriais diversas, incluindo tecnologia de ponta (Duarte et al., 2021). No ano de 2023, o Brasil produziu cerca de 131.950.246 toneladas em uma área de 22.316.340 hectares (IBGE, 2025), sendo o Mato Grosso o maior produtor (50.241.972 toneladas). O Nordeste detém cerca de 1.036.197.286 toneladas de produção, tendo o estado da Paraíba uma produção de 41.946 toneladas (0,004% da produção do Nordeste), com uma área colhida de 89.395 hectares (IBGE 2025).

Entretanto, a baixa produção da Paraíba pode estar atrelada ao fato de que a região do semiárido nordestino possui restrições hídricas capazes de influenciar negativamente o desenvolvimento das culturas devido ao acúmulo de sais na composição de suas águas e, sob condições de estresse salino ocasionado pelo uso de águas salobras, as plantas têm a sua absorção de água e nutrientes limitados, na qual afeta diretamente no seu metabolismo, na expansão celular e na produção de fotoassimilados, prejudicando o crescimento e rendimento das culturas (Sousa et al., 2021). Sendo assim, é necessário alternativas que tornem capazes o uso das águas salobras sem prejudicar o desenvolvimento das culturas, como a exemplo da utilização de atenuantes, que são responsáveis por mitigar os efeitos deletérios ocasionados pelos estresses abióticos.

Sendo assim, a aplicabilidade de nanopartículas de óxido de zinco tem se tornado promissor, justamente pelo zinco ser um dos microelementos essenciais ao ciclo de vida da planta, sendo encontrado em todas as enzimas relacionadas ao metabolismo da oxiredutase, liases, isomerases, transferases, hidrolases e ligases das plantas (Auld, 2001), exhibe

propriedades antimicrobianas que podem ser exploradas para aumentar o rendimento das culturas sob estresse biótico e pode induzir a síntese de enzimas antioxidantes em plantas, incluindo catalase e peroxidase (Elhawatet al., 2018).

Nesse contexto, objetivou-se avaliar o efeito do *seed priming* com nanopartículas de óxido de zinco no acúmulo de fitomassa em plantas de milho submetidas a estresse salino.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em ambiente protegido (casa de vegetação), localizado na Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UAEA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), no município de Campina Grande – PB, com coordenadas geográficas de 07°15'18" de latitude sul, 35°52'28" de longitude oeste e altitude média de 550 m.

O cultivo foi conduzido em vasos plásticos com capacidade de 10 L, adaptados com lisímetros de drenagem. Em cada vaso foi acoplado na sua base um dreno transparente de 20 mm de diâmetro, para permitir o escoamento da água drenada. Foi utilizado o delineamento em blocos casualizados, com arranjo fatorial 2×6 , sendo dois níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (0,4 e 3,0 dS m⁻¹) e seis concentrações de nano partículas de óxido de zinco (0; 50; 100; 150; 200 e 250 mg L⁻¹) com quatro repetições e uma planta por parcela.

As águas salobras foram preparadas mediante adição de sais NaCl, CaCl₂.2H₂O e MgSO₄.7H₂O na água de abastecimento local (CEa = 0,4 dS m⁻¹), mantendo a proporção equivalente de 7:2:1 de Na, Ca e Mg, respectivamente, que representa a composição média das águas do semiárido nordestino (Medeiros, 1992). No preparo das águas de irrigação, foi considerada a relação entre CEa e a concentração de sais (Richards, 1954), conforme a Equação 1. A irrigação com água salobra iniciou-se aos 10 dias após a semeadura (DAS), realizada diariamente.

$$Q \approx CEa \times 10 \quad (1)$$

Onde: Q - quantidade de sais (mmolc L⁻¹); e

CEa - condutividade elétrica da água de irrigação (dS m⁻¹).

Inicialmente, foram escolhidas sementes vigorosas de milho da cultivar NTX 668 PRO2, desinfetadas com solução de hipoclorito de sódio (1%) por 2 minutos e, em seguida, lavadas diversas vezes com água destilada. A aplicação das nanopartículas de zinco (NPZnO) foram

realizadas através do método de preparo das sementes (*seed priming*) de acordo com a metodologia proposta por Esper Neto et al (2020), em que as sementes foram inseridas em um béquer com 1L de água destilada, juntamente com cada concentração de NPZnO (0; 50; 100; 150; 200 e 250 mg L⁻¹). Ao longo de 8 horas, as sementes permaneceram emergidas na solução e a cada 1 hora era realizado a mistura da solução, para em seguida ficarem aptas para a semeadura.

Posteriormente, foi realizado a semeadura, utilizando-se de quatro sementes por vaso, distribuídas de forma equidistante, em uma profundidade padrão de \cong 3cm, sendo realizado o desbaste cinco dias após a semeadura.

As adubações com nitrogênio, fósforo e potássio foram realizadas conforme recomendação para experimentos em vaso, de acordo com Novais et al (1991). Os fertilizantes usados foram a ureia (45% N), fosfato monoamônico (12% N; 61% P₂O₅) e KCl (60% K₂O).

Aos 35 dias após a semeadura (DAS), foi determinada a fitomassa seca da folha (FSF); do caule (FSC); da raiz (FSR) e a relação raiz parte aérea (R/PA), determinada pela razão entre a fitomassa seca da raiz e a fitomassa seca da parte aérea (somatório da fitomassa seca da folha e do caule).

Os dados coletados foram submetidos ao teste de normalidade e homogeneidade (teste de Shapiro-Wilk e teste de Bartlett) e posteriormente à análise de variância pelo teste F ($p \leq 0,05$). Subsequente, nos casos de significância, as variáveis afetadas pela salinidade foram submetidas ao teste de comparação de médias (teste F), enquanto aquelas significativamente influenciadas pelas concentrações de nano partículas de óxido de zinco e pela interação entre os dois fatores foi realizada uma análise de regressão polinomial linear e quadrática, utilizando-se o software estatístico SISVAR 5.6 (FERREIRA et al., 2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

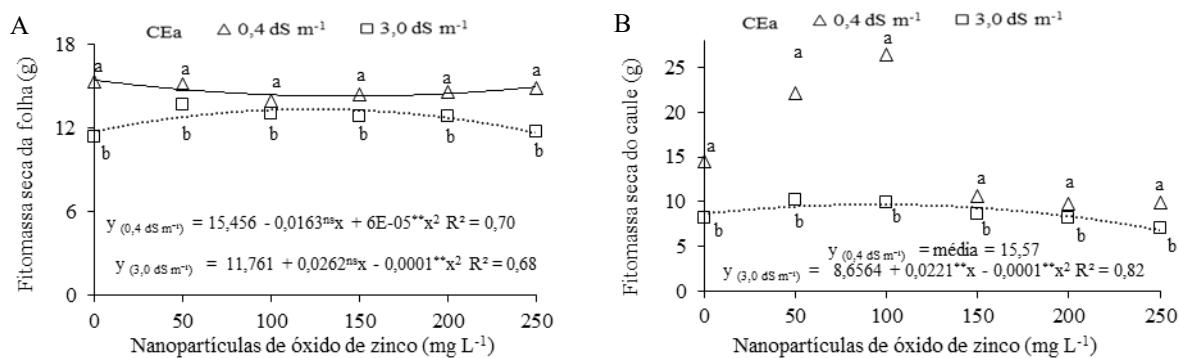
De acordo com o resumo da análise de variância, houve efeito significativo ($p \leq 0,01$) da interação entre os níveis da condutividade elétrica da água de irrigação e as concentrações de nanopartículas de óxido de zinco sobre todas as variáveis referente ao acúmulo de fitomassa das plantas de milho, aos 35 dias após a semeadura (Tabela 1).

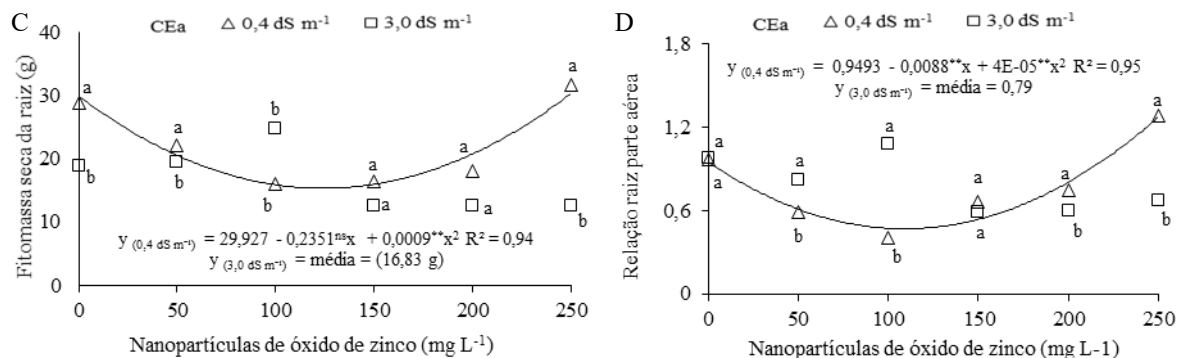
Tabela 1. Resumo da análise de variância para a fitomassa seca da folha (FSF), do caule (FSC), da raiz (FSR) e relação raiz parte aérea (R/PA) do milho em função da interação entre a condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) e concentrações de nano partículas de óxido de zinco (NPZnO) aos 35 dias após a semeadura.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		FSF	FSC	FSR	R/PA
Condutividade elétrica da água de irrigação (CEa)	1	54,66**	562,32**	349,11**	0,002 ^{ns}
Concentrações NPZnO	5	1,33**	133,26**	112,97**	0,19**
Regressão linear	1	0,50 ^{ns}	227,37**	111,03**	0,004 ^{ns}
Regressão quadrático	1	1,12*	132,66**	278,79**	0,81**
Interação (CEa× NPZnO)	5	2,87**	75,73**	167,18**	0,36**
Blocos	3	0,17 ^{ns}	1,34 ^{ns}	0,89 ^{ns}	0,001 ^{ns}
Resíduo	33	0,27	0,85	2,67	0,006
CV (%)		3,84	7,57	8,38	9,97

GL - Grau 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 salinidade influenciou negativamente a fitomassa seca das folhas (Figura 1.A), onde plantas irrigadas com $0,4 \text{ dS m}^{-1}$ apresentaram um maior valor de 15,46 g, resultando em incrementos de 23,91% (3,69 g), ao comparar com plantas irrigadas com $3,0 \text{ dS m}^{-1}$. Os níveis de condutividade elétrica ($0,4$ e $3,0 \text{ dS m}^{-1}$) diferiram estatisticamente em todas as concentrações de NPZnO. Sob CEa de $0,4 \text{ dS m}^{-1}$, o uso do NPZnO até a concentração de 140 mg L^{-1} proporcionou menor valor (14,35 g) na FSF. Verifica-se também que os efeitos deletérios foram atenuados em plantas irrigadas com a salinidade de $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ quando as plantas de milho foram submetidas até a concentração de 131 mg L^{-1} de NPZnO, com um valor de 13,48 g. Para FSC (Figura 1.B), o uso de NPZnO até a concentração de $110,5 \text{ mg L}^{-1}$ sob CEa de $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ proporcionou maior valor de 9,88 g, com um aumento de 12,35% (1,22 g) ao comparar com as plantas testemunhas (8,66 g), no entanto, as plantas irrigadas com CEa de $0,4 \text{ dS m}^{-1}$, não se ajustaram a nenhum modelo de regressão.





X e Y representam concentrações de nanopartículas de óxido de zinco (mg L⁻¹) e variáveis analisadas, respectivamente. ** e ns significativo a $p \leq 0,01$ e não significativo respectivamente. Para mesma concentração nano partículas de óxido de zinco, as médias seguidas por letras diferentes indicam diferenças significativas entre os níveis de salinidade de água (CEa).

Figura 1. Fitomassa seca da folha (A), do caule (B), da raiz (C) e relação raiz parte aérea (D) do milho em função da interação entre a condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) e concentrações de nano partículas de óxido de zinco (NPZnO) aos 35 dias após a semeadura.

O NPZnO até a concentração de 130,61 mg L⁻¹ proporcionou um menor valor (14,57 g) na FSR (Figura 1.C) sob CEa de 0,4 dS m⁻¹, entretanto, sob concentração de 150 e 200 mg L⁻¹, não houve diferença significativa ao comparar os níveis de CEa, ademais, nota-se também que, as plantas irrigadas com CEa de 3,0 dS m⁻¹ não se ajustaram a nenhum modelo de regressão.

O aumento das concentrações de NPZnO até 110 mg L⁻¹ promoveu redução na R/PA (0,46) para o nível de CEa de 0,4 dS m⁻¹, no entanto, o maior valor observado (1,25) foi na concentração de 250 mg L⁻¹ (Figura 1.D).

Em condições de baixa salinidade (0,4 dS m⁻¹), observou-se que o aumento nas concentrações de NPZnO reduziu a fitomassa. Essa tendência sugere que, nesse cenário, concentrações elevadas de nanopartículas podem exercer efeito tóxico ou causar desequilíbrios metabólicos, prejudicando o desenvolvimento das plantas, tal resultado é consonante com estudos que indicam que altas concentrações de nanopartículas podem gerar estresse adicional, possivelmente por efeito de toxicidade ou pela interferência em processos fisiológicos normais (Esper Neto et al., 2020).

Por outro lado, sob alta salinidade (3,0 dS m⁻¹), concentrações intermediárias de NPZnO (131 e 110,5 mg L⁻¹) promoveram ganhos significativos na fitomassa, indicando um potencial atenuador do estresse salino mediante o uso de nanopartículas. Essa melhora pode estar relacionada ao papel do zinco na ativação de enzimas antioxidantes, contribuindo para minimizar os danos causados pelo excesso de sais, além de potencializar processos como a síntese de proteínas, expansão celular e metabolismo, conforme apontado por trabalhos anteriores (Elhawetet al., 2018).

CONCLUSÕES

Em condições de baixa salinidade (0,4 dS m⁻¹), o aumento das concentrações de NPZnO reduziu a fitomassa da parte aérea (FSF) e da raiz (FSR). Já sob alta salinidade (3,0 dS m⁻¹), concentrações intermediárias (131 e 110,5 mg L⁻¹) promoveram ganhos significativos. Além disso, a razão raiz parte aérea (R/PA) variou conforme a dose.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AULD, D. S. Zinc coordination sphere in biochemical zinc sites. **Biometals**, v. 14, p. 271-313, 2001.
- DUARTE, J. O.; MATTOSO, M. J.; GARCIA, J. C. **Milho: Importância Socioeconômica**. [S. l.], 8 dez. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacaotecnologica/cultivos/milho/pre-producao/socioeconomia/importancia-socioeconomica>. Acesso em: 19 abr. 2024.
- ELHAWAT, N.; ALSHAAL, T.; HAMAD, E.; EL-NAHRAWY, E.; OMARA, A.; EL-NAHRAWY, S.; ELSAKHAWY, T.; GHAZI, A.; ABDALLA, N.; DOMOKOS-SZABOLCSY, E.; HASSAN EL-RAMADY, H. **Nanoparticle-associated phytotoxicity and abiotic stress under agroecosystems**. In *Phytotoxicity of nanoparticles*, 1st ed.; Faisal, M., Saquin, Q., Alatar, A. A., Ak-Khedhairy, A. A., Eds.; Springer: Gewerbestrasse, Switzerland, 2018.
- ESPER NETO, M.; BRITT, D. W.; LARA, L. M.; CARTWRIGHT, A.; SANTOS, R. F.; INOUE, T. T.; BATISTA, M. A. Initial Development of Maize Seedlings after *Seed priming* with Nanoscale Synthetic Zinc Oxide. **Agronomy**, v. 10, 307p, 2020.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split-plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, p. 529-535, 2019.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agrícola Municipal. 2025. Disponível online: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/milho-em-grao/br>.
- MEDEIROS, J. F. **Qualidade de água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo GAT nos Estados de RN, PB e CE**. 1992. 196f. (Dissertação

de Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal da Paraíba Campina Grande, 1992.

NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: Oliveira, A. J.; GARRIDO, W. E.; ARAÚJO, J. D.; LOURENÇO, S. (ed). **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília: Embrapa, 1991. p. 189-198.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: U. S. Department of Agriculture, 1954. 160p.

SOUSA, J. T. M.; SOUSA, G. G.; SILVA, E. B.; SILVA JUNIOR, F. B.; VIANA, T. V. A. Physiological responses of peanut crops to irrigation with brackish waters and application of organo-mineral fertilizers. **Revista Caatinga**, v. 34, p. 682-691, 2021.