

## SUPLEMENTAÇÃO DE CÁLCIO COMO ESTRATÉGIA PARA MITIGAR O ESTRESSE SALINO NO CULTIVO DE BERINJELA

Maurício Vinicius Rodrigues<sup>1</sup>, Francisco de Assis de Oliveira<sup>2</sup>, Sandy Thomaz dos Santos<sup>3</sup>, Maria Eduarda Bezerra Alves Cordeiro<sup>4</sup>, Rayanne Aires Dantas<sup>4</sup>, Giselly Emilly Gonçalves Queiroz<sup>4</sup>

**RESUMO:** A salinidade da água de irrigação é um fator limitante para a produtividade agrícola em regiões semiáridas, exigindo alternativas para manter o rendimento das culturas. Este estudo foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o efeito da suplementação de cálcio em diferentes doses sobre a produção de berinjela sob estresse salino. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, com delineamento inteiramente casualizado, quatro tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos consistiram em: T1 – irrigação com água de baixa salinidade (0,5 dS m<sup>-1</sup>) e 25 g planta<sup>-1</sup> de Ca; T2 – água de alta salinidade (5,0 dS m<sup>-1</sup>) e 12,5 g planta<sup>-1</sup> de Ca; T3 – água de alta salinidade e 25 g planta<sup>-1</sup> de Ca; T4 – água de alta salinidade e 37,5 g planta<sup>-1</sup> de Ca. Foram avaliados: número de frutos, comprimento de fruto, diâmetro de fruto, massa média de fruto e produção de frutos. Os resultados mostraram que o estresse salino reduziu significativamente todas as variáveis analisadas. As doses de cálcio não afetaram o rendimento da berinjela submetida ao estresse salino. Conclui-se que a suplementação com cálcio não foi uma estratégia eficiente para reduzir o efeito do estresse salino sobre a produção da berinjela.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Solanum melongena* L., salinidade, nutrição mineral

## CALCIUM SUPPLEMENTATION AS A STRATEGY TO MITIGATE SALT STRESS IN EGGPLANT CULTIVATION

**ABSTRACT:** Irrigation water salinity is a limiting factor for agricultural productivity in semi-arid regions, necessitating strategies to maintain crop yield. This study aimed to evaluate the effect of calcium supplementation at different doses on eggplant production under saline stress.

<sup>1</sup> Estudante do Curso de Agronomia, Dep de Ciências Agrárias, Ufersa, Mossoró, RN., CEP 59611-140. Fone (84) 98603-8922. E-mail: Mauricio.rodrigues@alunos.ufersa.edu.br

<sup>2</sup> Prof. Adjunto, Depto de Engenharia e Ciências Ambientais, Ufersa, Mossoró, RN.

<sup>3</sup> Doutora em Manejo Solo e Água.

<sup>4</sup> Estudante do Curso de Agronomia, Dep de Ciências Agrárias, Ufersa, Mossoró, RN.

The experiment was conducted in a greenhouse using a completely randomized design with four treatments and five replications. The treatments were as follows: T1 – irrigation with low-salinity water ( $0.5 \text{ dS m}^{-1}$ ) and  $25 \text{ g plant}^{-1}$  of Ca; T2 – high-salinity water ( $5.0 \text{ dS m}^{-1}$ ) and  $12.5 \text{ g plant}^{-1}$  of Ca; T3 – high-salinity water and  $25 \text{ g plant}^{-1}$  of Ca; T4 – high-salinity water and  $37.5 \text{ g plant}^{-1}$  of Ca. The evaluated variables included fruit number, fruit length, fruit diameter, average fruit weight, and total fruit production. Results indicated that saline stress significantly reduced all assessed variables. The application of calcium at the tested doses did not improve eggplant yield under saline conditions. It is concluded that calcium supplementation was not an effective strategy to mitigate the effects of saline stress on eggplant production.

**KEYWORDS:** *Solanum melongena* L., salinity, nutrition mineral

## INTRODUÇÃO

A berinjela (*Solanum melongena* L.) é uma hortaliça pertencente à família Solanaceae, sua popularidade tem crescido como alternativa de alimento nutritivo e versátil, utilizada em diversas preparações culinárias, o que favorece sua comercialização em todo o mundo, se desenvolve melhor em clima tropical e subtropical, sendo a temperatura ideal para o crescimento vegetativo e produção variando entre  $22 \text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$  (Liu et al., 2023), onde seu cultivo se destaca pela adaptabilidade e crescente importância socioeconômica. Possui frutos ricos em compostos bioativos, tais como ácidos fenólicos, flavonoides e antocianinas, que conferem propriedades antioxidantes e potenciais benefícios à saúde humana (Singh et al., 2021). Devido à presença desses compostos com efeitos terapêuticos, a berinjela tem sido classificada como um alimento funcional em estudos nutricionais e farmacológicos (Gürbüz et al., 2018). Além disso, sua boa aceitação no mercado consumidor a torna uma opção economicamente viável, especialmente para pequenos e médios produtores rurais. Entretanto, a produtividade da cultura é frequentemente limitada por condições edafoclimáticas adversas, dentre as quais se destaca a salinidade do solo e da água de irrigação, fatores que afetam diretamente o desenvolvimento e o rendimento das plantas.

A salinização dos solos, decorrente principalmente do acúmulo excessivo de íons como sódio ( $\text{Na}^+$ ) e cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), interfere negativamente na capacidade das plantas em absorver água, comprometendo o crescimento e o desempenho produtivo das culturas agrícolas. Esse problema é intensificado pelo uso contínuo de águas subterrâneas com alta condutividade elétrica,

frequentemente associadas a práticas de manejo inadequadas que favorecem a concentração salina no solo. Em regiões semiáridas, a salinidade da água de irrigação configura-se como um dos principais fatores limitantes da produção, afetando a sustentabilidade dos sistemas produtivos (Moura et al., 2017). No caso da berinjela, que é considerada moderadamente sensível à salinidade, o limiar tolerável de condutividade elétrica do solo é aproximadamente  $1,5 \text{ dS m}^{-1}$ , valor acima do qual observa-se redução significativa no rendimento e desenvolvimento da planta (Ünlükara et al., 2010).

Devido à sua importância em diversos processos fisiológicos essenciais para as plantas, como o crescimento, a regulação metabólica e a percepção e resposta a condições adversas, o cálcio tem se destacado como um elemento-chave na mitigação dos efeitos negativos causados pela irrigação com água salina. A suplementação de cálcio pode reduzir a toxicidade iônica, contribuindo para a preservação dos processos fisiológicos fundamentais ao desenvolvimento vegetal, como demonstrado por Xu et al. (2022). Somado a isso, uma nutrição adequada com cálcio tem o potencial de aliviar os efeitos do estresse salino nas plantas, promovendo maior resistência e adaptabilidade ao ambiente salino (Silva et al., 2020). Com base nesse contexto, o presente estudo foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o efeito da suplementação de cálcio em diferentes doses sobre a produção de berinjela sob condições de estresse salino.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Departamento de Ciências Agrônômicas e Florestais da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), em Mossoró, RN. O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, com quatro tratamentos e cinco repetições, totalizando 20 unidades experimentais. Os tratamentos foram constituídos da seguinte forma: T1 – irrigação com água de baixa salinidade ( $0,5 \text{ dS m}^{-1}$ ) associada à aplicação de 25 g de cálcio por planta; T2 – irrigação com água de alta salinidade ( $5,0 \text{ dS m}^{-1}$ ) e aplicação de 12,5 g de cálcio por planta; T3 – irrigação com água de alta salinidade ( $5,0 \text{ dS m}^{-1}$ ) e dose de 25 g de cálcio por planta; e T4 – irrigação com água de alta salinidade ( $5,0 \text{ dS m}^{-1}$ ) e aplicação de 37,5 g de cálcio por planta, a fonte do cálcio utilizada foi o nitrato de cálcio.

Cada repetição consistiu em um vaso com capacidade para  $20 \text{ dm}^3$  de solo, contendo uma planta. Além do cálcio, todos os tratamentos receberam doses fixas de nitrogênio ( $14,6 \text{ g planta}^{-1}$ ), fósforo ( $10 \text{ g planta}^{-1}$ ), cálcio ( $4 \text{ g planta}^{-1}$ ), magnésio ( $4 \text{ g planta}^{-1}$ ) e enxofre ( $3 \text{ g}$

planta<sup>-1</sup>). A suplementação de micronutrientes foi realizada por meio de dois produtos comerciais: um composto contendo magnésio (1,1%), boro (0,85%), cobre quelatado (0,5%), ferro quelatado (3,4%), manganês quelatado (3,2%), molibdênio (0,05%) e zinco (4,2%), e outro utilizado como fonte adicional de ferro (Quelato de Ferro Q48 EDDHA 6%).

As mudas de berinjela, híbrido Milan F1 (Topseed<sup>®</sup>), foram produzidas em bandejas de poliestireno expandido com 128 células, utilizando substrato de fibra de coco, sendo depositadas três sementes por célula. Aos 10 dias após a semeadura realizou-se o desbaste, deixando em cada célula a plântula mais vigorosa. Durante o período entre semeadura e desbaste, as irrigações foram realizadas exclusivamente com água potável. Após o desbaste, foram realizadas fertigações diárias por sistema floating, utilizando solução nutritiva diluída a 70%. Quando as plantas apresentaram de três a quatro folhas definitivas, aproximadamente 32 dias após a semeadura, foram transplantadas para os vasos definitivos, com uma muda por vaso.

Os vasos foram arranjados dentro da estufa em quatro fileiras, com espaçamento de 1,50 m entre fileiras e 0,50 m entre plantas, correspondendo a uma população estimada de 13.333 plantas por hectare. Cada vaso possuía sistema de drenagem na base, composto por uma camada de brita e manta geotêxtil de 2 cm, para facilitar o escoamento dos sais. Os dois primeiros vasos no início de cada fileira foram utilizados como bordadura, conduzidos conforme o tratamento T1.

A irrigação foi realizada por gotejamento, com cada tipo de água operando em sistema independente, constituído por reservatório de 500 L, eletrobomba autoventilada (modelo EBD250076, Metalcorte/Eberle), mangueiras de 16 mm e microtubos com vazão média de 2,5 L h<sup>-1</sup>. O manejo da irrigação foi controlado por temporizador digital (modelo TE-2, Decorlux<sup>®</sup>), com seis irrigações diárias, ajustando-se o tempo de cada aplicação conforme a necessidade hídrica da cultura. Foram realizadas seis colheitas ao longo do ciclo, nas quais foram avaliadas as variáveis: número de frutos, comprimento, diâmetro, índice de formato, massa média e produção total de frutos. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as variáveis que apresentaram diferenças significativas foram comparadas pelo teste de Tukey, com nível de significância de 5% ( $p \leq 0,05$ ). As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software Sisvar (FERREIRA, 2019).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

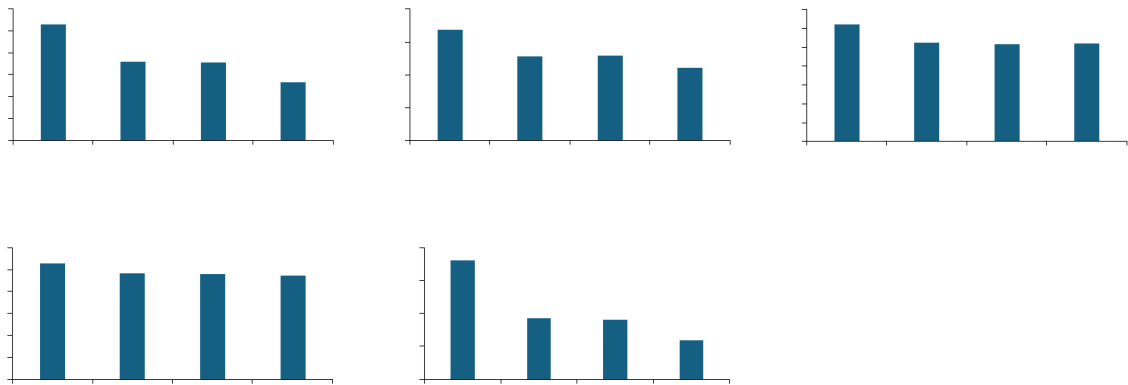
A maior produtividade foi registrada no tratamento composto pela irrigação com água de baixa salinidade associada à aplicação de 25 g planta<sup>-1</sup> de cálcio (T1), evidenciando que a ausência de estresse salino, aliada ao suprimento adequado desse nutriente, proporciona condições ideais para o pleno desenvolvimento fisiológico e produtivo da cultura. Esse resultado pode ser atribuído à manutenção do equilíbrio osmótico e estrutural das membranas celulares, bem como à melhoria na absorção e translocação de outros nutrientes, promovida pelo cálcio. Além disso, a menor concentração de sais na solução do solo reduz a competição iônica e a toxicidade causada por íons como o sódio e o cloreto, permitindo que a cultura expresse seu potencial produtivo máximo (Marschner, 2012; Taiz et al., 2017).

A salinidade elevada da água de irrigação exerceu efeito negativo sobre o desempenho produtivo da berinjela híbrida Milan F1, comprometendo variáveis essenciais para a produtividade, como número de frutos, comprimento, diâmetro, massa média e produção total. Observou-se que os tratamentos submetidos à salinidade de 5,0 dS m<sup>-1</sup> (T2, T3 e T4) apresentaram redução em todas as variáveis avaliadas, quando comparados ao tratamento com baixa salinidade (T1), resultado compatível com os efeitos do estresse osmótico e tóxico causados pelo acúmulo de íons como Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> na rizosfera os quais interferem no metabolismo, na integridade das membranas celulares e na atividade enzimática. Em consequência, há redução na fotossíntese, no crescimento vegetativo e, conseqüentemente, na capacidade de formação e enchimento dos frutos, comprometendo de forma significativa o rendimento final da cultura (Munns & Tester, 2008).

A salinidade da água de irrigação, em interação com as diferentes doses de cálcio, exerceu influência significativa sobre a produtividade da berinjela híbrida Milan F1. Entre os tratamentos sob salinidade de 5,0 dS m<sup>-1</sup>, o T2 (12,5 g de Ca planta<sup>-1</sup>) apresentou o melhor desempenho produtivo, registrando o maior número médio de frutos (18,00) e a maior produção por planta (928,83 g), resultados semelhantes foram observados no T3 (25 g de Ca planta<sup>-1</sup>), com 17,83 frutos e produção de 912,07 g por planta, indicando que o aumento moderado da suplementação cálcica manteve o desempenho próximo ao do melhor tratamento dentro da condição salina. Em contrapartida, o T4 (37,5 g de Ca planta<sup>-1</sup>) apresentou as menores médias para ambas as variáveis, com 13,33 frutos e produção de 596,91 g por planta esses resultados sugerem que o incremento excessivo da dose de cálcio não promoveu ganhos produtivos adicionais; ao contrário, pode ter intensificado o desequilíbrio iônico e osmótico no solo, agravando os efeitos deletérios do estresse salino e reduzindo a eficiência fisiológica da cultura.

Entre os tratamentos submetidos ao estresse salino, o tratamento T3, que recebeu a dose intermediária de 25 g de cálcio por planta, demonstrou desempenho produtivo superior ao T2, que foi submetido à menor suplementação cálcica (12,5 g planta<sup>-1</sup>). Esse resultado evidencia o papel crucial do cálcio na atenuação dos efeitos adversos da salinidade na cultura da berinjela. A melhora observada pode ser explicada pela função do cálcio na estabilização estrutural e funcional das membranas celulares, o que contribui para a manutenção da integridade celular frente ao estresse osmótico e iônico provocado pelos sais. Além disso, o cálcio atua na redução da toxicidade do íon sódio, competindo por sítios de ligação nas raízes e limitando sua absorção excessiva, favorecendo a absorção seletiva e o transporte de nutrientes essenciais, como o potássio, fundamental para processos metabólicos e equilíbrio osmótico da planta. Dessa forma, a suplementação adequada de cálcio pode auxiliar na preservação da homeostase celular (Islam et al, 2023).

No entanto, o tratamento T4, que recebeu a dose mais elevada de cálcio (37,5 g planta<sup>-1</sup>), não apresentou incremento produtivo significativo em relação ao tratamento T3 (25 g planta<sup>-1</sup>), indicando que a elevação da suplementação cálcica além desse patamar não proporciona benefícios adicionais à produção da berinjela. Essa resposta sugere a existência de um limiar de eficiência na absorção e utilização do cálcio pela planta, além do qual não ocorrem melhorias fisiológicas ou agronômicas relevantes, a aplicação de doses excessivas implica em custos operacionais adicionais, sem o correspondente retorno produtivo, o que torna essa prática economicamente inviável e pouco recomendada para o manejo nutricional da cultura sob condições de estresse salino. Assim, a suplementação de cálcio demonstrou contribuir para a mitigação dos efeitos adversos do estresse salino na berinjela, porém não foi suficiente para restaurar plenamente a produtividade das plantas submetidas a altas concentrações salinas, especialmente quando aplicadas em doses elevadas. é fundamental considerar a fonte de cálcio empregada, uma vez que o cloreto de cálcio, comumente utilizado, contém elevados teores do íon cloreto (Cl<sup>-</sup>), o qual pode exercer efeito fitotóxico e agravar o estresse salino. Esse fator pode limitar parcial ou totalmente os benefícios proporcionados pelo cálcio, dependendo da dose aplicada e da tolerância específica da cultura ao íon cloreto. Portanto, a escolha criteriosa da fonte de cálcio e o ajuste das doses são aspectos essenciais para otimizar o manejo nutricional visando a redução dos impactos da salinidade. (Silva et al., 2019).



**Figura 1.** Número de frutos, massa média de frutos, comprimento de fruto, diâmetro de fruto e produção de berinjela submetida a salinidade da água de irrigação e dose de cálcio

## CONCLUSÕES

A salinidade da água de irrigação promoveu redução significativa em todas as variáveis de rendimento avaliadas, evidenciando o efeito negativo do excesso de sais sobre o crescimento e a produtividade da cultura. A suplementação de cálcio, embora reconhecida por seu papel na manutenção da integridade da parede celular, na seletividade de membranas, não se mostrou eficaz na atenuação dos efeitos adversos da salinidade nas condições deste estudo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.
- GÜRBÜZ, N.; ULUIŞIK, S.; FRARY, A.; FRARY, A.; DOĞANLAR, S. Health benefits and bioactive compounds of eggplant. **Food Chemistry**, v. 268, p. 602-610, 2018.
- ISLAM, M.M.; JAHAN, K.; SEN, A.; URMI, T.A.; HAQUE, M.M.; ALI, H.M.; SIDDIQUI, M.H.; MURATA, Y. Exogenous application of calcium ameliorates salinity stress tolerance of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and enhances fruit quality. **Antioxidants**, v.12, 558, 2023.
- LIU, R.; SHU, B.; WANG, Y.; et al. Transcriptome analysis reveals key genes involved in the eggplant response to high-temperature stress. **Environmental and Experimental Botany**, v. 211, p. 105369, 2023. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2023.105369

MARSCHNER, P. **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants**. 3. ed. San Diego: Academic Press, 2012.

MOURA, E. P.; CARVALHO, A. F. Impacto da salinização do solo na produtividade agrícola. **Revista de Ciências Agronômicas**, v. 38, n. 2, p. 65-73, 2017.

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, p. 651–681, 2008.

OLIVEIRA, A. A.; SILVA, F. M.; SOUSA, T. S. Efeito da adubação nitrogenada em cultivos sob estresse salino. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 14, n. 4, p. 438-448, 2019.

SILVA, E. M.; GOMES, E. M.; BEZERRA, F. T. C.; GHEYI, H. R.; LIMA, G. S. Respostas de cultivares de arroz irrigado ao estresse salino em solo sódico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 10, p. 757-763, 2019.

SILVA, R. C. P.; OLIVEIRA, F. A.; OLIVEIRA, A. P.; MEDEIROS, J. F.; ALVES, R. C.; PAIVA, F. A. G. Bell pepper production under saline stress and fertigation with different K<sup>+</sup>/Ca<sup>2+</sup> ratios in a protected environment. *Acta Scientiarum*. **Agronomy**, v.42: e42498, 2020

SINGH, B.; SINGH, J. P.; KACHWAYA, D.; YADAV, D. N.; SINGH, S.; SINGH, A. K. Bioactive compounds in eggplant (*Solanum melongena* L.) and their roles in human health: A review. **Food Chemistry**, v. 353, p. 129-160, 2021.

ÜNLÜKARA, A.; KURUNÇ, A.; KESMEZ, G. D.; YURTSEVEN, E.; SUAREZ, D. L. Effects of salinity on eggplant (*Solanum melongena* L.) growth and evapotranspiration. **Irrigation and Drainage**, v.59, p.203-214, 2010.

XU, T.; NIU, J.; JIANG, Z. Sensing mechanisms: calcium signaling mediated abiotic stress in plants. **Frontiers in Plant Science**, v.13: p.1-9. 2022.