

PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS DO QUIABO IRRIGADO COM ÁGUAS SALOBRAS E APLICAÇÃO DE SELÊNIO

ALLESSON RAMOS DE SOUZA¹, GEOVANI SOARES DE LIMA², LUCYELLY DÂMELA ARAÚJO BORBOREMA³, KHEILA GOMES NUNES⁴ e DENIS SOARES COSTA⁵

¹Doutorando em Eng. Agrícola, PPGEA/UFCG, Campina Grande-PB, allesson13@outlook.com;

²Dr. em Eng. Agrícola, Prof. assistente CCTA, UFCG, Pombal-PB, geovanisoareslima@gmail.com;

³Doutoranda em Eng. Agrícola, PPGEA/UFCG, Campina Grande-PB, lucyellyd@gmail.com;

⁴Doutoranda em Eng. Agrícola, PPGEA/UFCG, Campina Grande-PB, kheilagomesnunes@gmail.com;

⁵Doutorando em Eng. Agrícola, PPGEA/UFCG, Campina Grande-PB, denis_soares11@hotmail.com.

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
6 a 9 de outubro de 2025

RESUMO:

A salinidade é um dos grandes entraves para a produção agrícola, principalmente em regiões como a do semiárido Nordeste. Neste sentido, práticas que possam atenuar os efeitos deletérios da salinidade e /ou viabilizar a irrigação com águas salobras são de extrema importância. Neste sentido, objetivou-se avaliar o efeito da aplicação de selênio sobre os pigmentos fotossintéticos do quiabeiro irrigados com águas salobras. O delineamento experimental foi constituído por quatro concentrações de salinidade na água de irrigação – CEa (0,4; 1,3; 2,2 e 3,1 dS m⁻¹) e quatro concentrações de selênio – Se (0,0; 5,0; 10,0 e 15,0 mg L⁻¹), distribuídos em delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial de 4 × 4 com três repetições. A irrigação com água com condutividade elétrica a partir de 0,4 dS m⁻¹ influenciou negativamente os pigmentos fotossintéticos do quiabeiro. No entanto, a aplicação de selênio na concentração de 11,0 mg L⁻¹ elevou a síntese de clorofila *a*, *b* e clorofila total de plantas de quiabeiro independentemente do nível salino. A concentração de 14,0 mg L⁻¹ de Se proporcionou os maiores valores para os carotenoides de quiabeiro.

PALAVRAS-CHAVE: Oligoelemento; elicitador; estresse osmótico.

PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS OF OKRA IRRIGATED WITH BRAZILIAN WATER AND APPLICATION OF SELENIUM

ABSTRACT:

Salinity is a major obstacle to agricultural production, especially in regions such as the semiarid Northeast. Therefore, practices that can mitigate the deleterious effects of salinity and/or enable irrigation with brackish water are extremely important. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effect of selenium application on the photosynthetic pigments of okra plants irrigated with brackish water. The experimental design consisted of four irrigation water salinity concentrations – EC_w (0.4, 1.3, 2.2, and 3.1 dS m⁻¹) and four selenium concentrations – Se (0.0, 5.0, 10.0, and 15.0 mg L⁻¹), distributed in a randomized complete block design in a 4 × 4 factorial arrangement with three replicates. Irrigation with water with electrical conductivity of 0.4 dS m⁻¹ or higher negatively affected okra photosynthetic pigments. However, selenium application at a concentration of 11.0 mg L⁻¹ increased the synthesis of chlorophyll *a*, *b*, and total chlorophyll in okra plants, regardless of the salt level. A Se concentration of 14.0 mg L⁻¹ provided the highest values for okra carotenoids.

KEYWORDS: Trace element; elicitor; osmotic stress.

INTRODUÇÃO

Pertencente à família Malvaceae, o quiabeiro (*Abelmoschus esculentus* L.), é uma hortaliça de valor nutracêutico, sendo considerada uma excelente fonte de nutrientes essenciais à dieta humana (DALIU et al., 2020). O seu cultivo é amplamente limitado por fatores ambientais, especialmente em

regiões caracterizadas pela predominância do clima semiárido, situação comumente observada no Nordeste do Brasil (ROQUE et al., 2024). Devido à grande variabilidade pluviométrica temporal e espacial, verifica-se um aumento nas concentrações de sais nos reservatórios nestas regiões (RÖTHIG et al., 2023).

O acúmulo de íons sódio (Na^+) e cloreto (Cl^-) no solo cria uma pressão osmótica, dificultando a absorção de água pelas plantas, levando também à toxicidade iônica (BALASUBRAMANIAM et al., 2023), alterando a homeostase celular, resultando em estresse oxidativo e danos a membrana celular (ZHOU et al., 2024). O estresse ocasionado pela salinidade pode se manifestar em desequilíbrio nutricional, danos as estruturas dos cloroplastos e o comprometimento de funções fisiológicas vitais nas plantas, incluindo a síntese de proteínas e o processo fotossintético (KHAN et al., 2022). Neste sentido, técnicas que possam atenuar os efeitos deletérios do estresse salino ou viabilizar a irrigação com águas salobras são de extrema importância para o cultivo em áreas semiáridas.

A aplicação de compostos minerais destacam-se por ser uma prática simples e eficaz para impulsionar o crescimento e a produtividade de espécies agrícolas em condições salinas (NEDJIMI, 2024). O selênio (Se) é classificado como o 67º oligoelemento mais abundante na crosta terrestre (HASANUZZAMAN et al., 2020). Na planta, o composto atua como coadjuvante no fortalecimento do sistema de defesa antioxidante, na melhoria da eficiência fotossintética e o metabolismo secundário, contribuindo assim o aumento da tolerância das plantas a estresses abióticos (ABASI et al., 2024).

Embora a aplicação do selênio destaque-se como uma estratégia promissora para o aumento da tolerância das plantas ao estresse salino, seu uso apresenta algumas limitações, como o risco de fitotoxicidade. Além disso, a aplicação prolongada dessa substância pode acarretar impactos ambientais relevantes, reforçando a necessidade de mais estudos voltados à avaliação de seus efeitos, avaliando suas doses (YADAV et al., 2020). Neste sentido, objetivou-se avaliar o efeito das diferentes concentrações de selênio sobre os pigmentos fotossintéticos do quiabeiro irrigado com águas salobras.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em ambiente protegido, situado na Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UAEA), pertencente a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), em Campina Grande – PB. As plantas de quiabeiro foram conduzidas em vasos plásticos adaptados com lisímetros de drenagem com capacidade de 20 L. Cada unidade experimental foi perfurada na sua base para permitir a drenagem e conectado com dois drenos transparentes de 20 mm de diâmetro. O delineamento experimental foi de blocos casualizados, em esquema fatorial de 4×4 , sendo quatro níveis de salinidade na água de irrigação - CEa (0,4; 1,3; 2,2 e 3,1 dS m^{-1}) e quatro concentrações de selênio – Se (0,0; 5,0; 10,0 e 15,0 mg L^{-1}), com três repetições e uma planta por parcela.

Os níveis de condutividade elétrica foram baseados e adequados conforme um estudo conduzido por Soares et al. (2020) na cultura do quiabeiro irrigado com águas salobras. Já concentrações de selênio foram estabelecidas e adaptadas conforme descrito por Amerian et al. (2024) na cultura do pepino irrigado com águas salobras. Já a adubação com N (Ureia - 45% de N), P_2O_5 (Monoamônio fosfato - 60% de P_2O_5 e 12% de N) e K_2O (Cloreto de potássio - 51,5% de K_2O e 17% de S) foram iniciadas aos 12 dias após o transplante e realizada quinzenalmente através de fertirrigação. Os micronutrientes foram fornecidos via foliar a cada 15 dias, utilizando-se um pulverizador costal com uma solução contendo 1,0 g L^{-1} de Dripsol Micro Rexene®. A irrigação com água salina iniciou-se aos 22 DAS. Já a aplicação foliar das concentrações de selênio iniciaram-se aos 21 DAS, com um intervalo de 15 dias com um total de três aplicações.

Os teores de clorofila *a* (Cl *a*), clorofila *b* (Cl *b*), clorofila total (Cl *t*) e carotenoides (Car), expressos em mg g^{-1} , foram determinados de acordo com a metodologia proposta por Cruz et al. (2007) e Wellburn (1994), utilizando-se extratos vegetais obtidos a partir da amostra de discos foliares com uma área de 12 mm, coletados da terceira folha completamente expandida a partir da gema apical. Após a coleta, os dados foram submetidos a análises de normalidade (Shapiro-Wilk) e

homoscedasticidade (Levene). Nos casos de significância, realizou-se o teste F ($p \leq 0,05$) para os níveis de condutividade elétrica e das diferentes concentrações de selênio. Em casa de significância, foram realizadas análises de regressão linear e quadrática, utilizando o software estatístico R-Studio (V.4.1.0). Nos casos em que se verificou interação significativa entre os fatores analisados, as superfícies de resposta foram geradas por meio do software SigmaPlot (v.14.5).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação significativa entre os níveis de condutividade elétrica na água de irrigação e as concentrações de selênio ($p \leq 0,001$) para todas as variáveis de pigmentos fotossintéticos.

Tabela 1. Teores de clorofila *a* (Cl *a*), *b* (Cl *b*), clorofila total (Cl total) e carotenoides (Car), do quiabeiro irrigado com águas salobras e aplicação foliar de selênio, aos 35 dias após a semeadura (DAS).

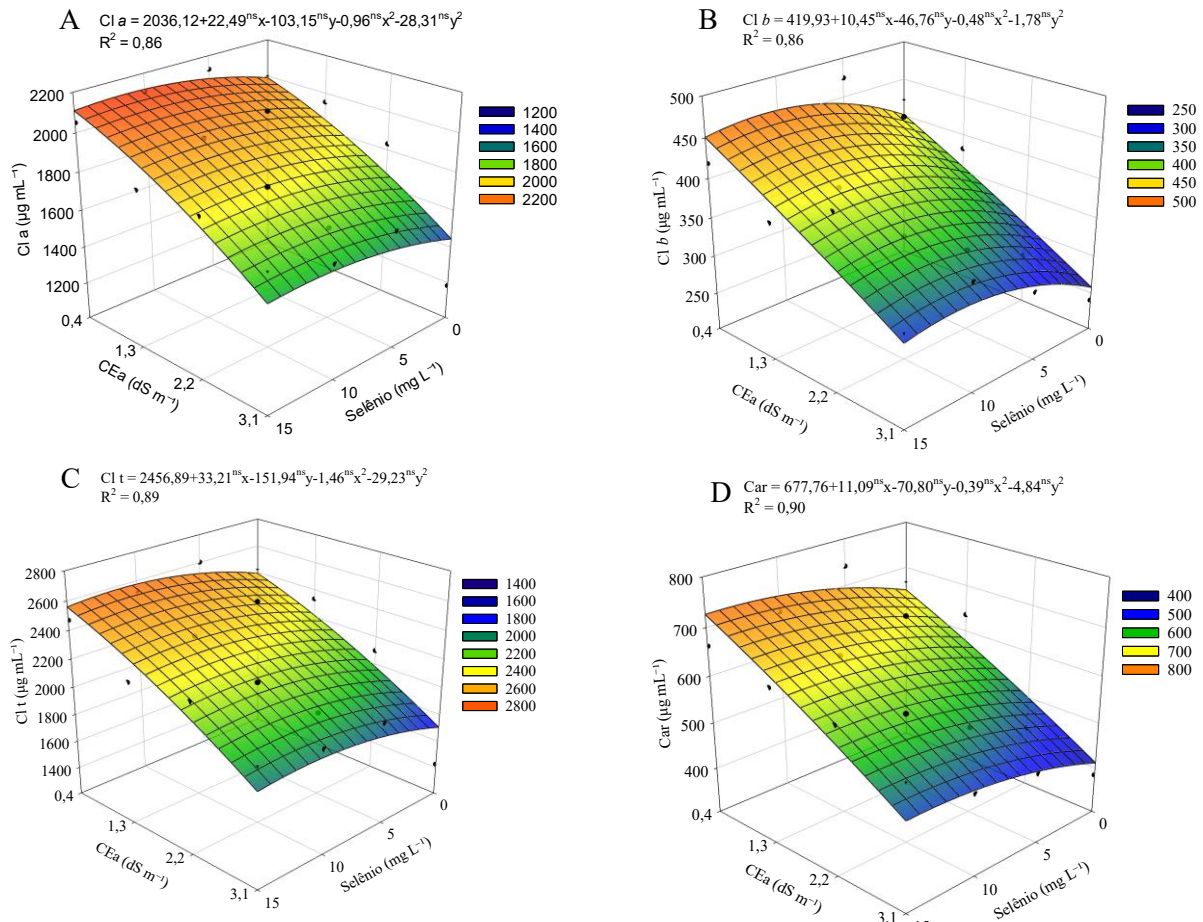
Fonte de variação	GL	Quadrado médio			
		Cl <i>a</i>	Cl <i>b</i>	Cl t	Car
Condutividade elétrica (CEa)	1	6,63x10 ^{6***}	4,45x10 ^{5***}	1,05x10 ^{7**}	1,28x10 ^{4***}
Regressão linear	1	1,97x10 ^{8**}	1,36x10 ^{6**}	3,14x10 ^{5***}	3,74x10 ^{8**}
Regressão polinomial	1	2,37x10 ^{3ns}	1,00x10 ^{3ns}	2,68x10 ^{4ns}	7,38x10 ^{3ns}
Selênio (Se)	3	4,21x10 ^{4**}	8,51x10 ^{4***}	4,39x10 ^{5***}	1,58x10 ^{4**}
Regressão linear	1	9,30x10 ^{4**}	1,64x10 ^{5**}	1,84x10 ^{5**}	3,99x10 ^{5**}
Regressão polinomial	1	2,95x10 ^{4ns}	6,81x10 ^{4**}	6,48x10 ^{4*}	4,69x10 ^{4ns}
Interação (CEa × Se)	3	7,82x10 ^{4***}	5,49x10 ^{4***}	1,02x10 ^{5***}	8,37x10 ^{4***}
Blocos	2	4,49x10 ^{3ns}	3,02x10 ^{3ns}	2,83x10 ^{4ns}	4,49x10 ^{3ns}
Resíduo	30	12,47x10 ³	1,23x10 ³	2,18x10 ³	10,47
CV (%)		5,74	9,12	7,90	5,74

GL - Grau de liberdade; CV - Coeficiente de variação; *, **, ***, ns - Significativo a $p \leq 0,05$, $p \leq 0,01$, $p \leq 0,001$ e não significativo, respectivamente.

A irrigação com CEa acima de 0,4 dS m⁻¹ proporcionou redução nos teores de Cl *a*, independentemente da concentração de selênio (Figura 1A). Em contrapartida, plantas de quiabeiro cultivadas sob a concentração de 11,0 mg L⁻¹ de selênio destacaram-se por apresentar o maior valor de 2120,47 mg g⁻¹ de Cl *a*, representando incrementos de 6,54% (130,14 mg g⁻¹) ao comparar com a testemunha (0,0 mg L⁻¹) irrigadas com o mesmo nível salino. O menor valor estimado de 1444,27 mg g⁻¹ foi observado em plantas irrigadas com CEa de 3,1 dS m⁻¹ sem a aplicação do selênio (0,0 mg L⁻¹), correspondendo uma diminuição de 8,27% (130,40 mg g⁻¹) em comparação com plantas de quiabeiro adubadas com 11,0 mg L⁻¹ de Se irrigadas com o mesmo nível de CEa.

Corroborando com os resultados obtidos para a clorofila *a* (Figura 1A), a salinidade acima de 0,4 dS m⁻¹ influenciou negativamente a síntese de clorofila *b* (Figura 1B) de plantas de quiabeiro, apresentando decréscimos de 35,68% (143,07 mg g⁻¹) ao comparar o menor nível salino, com o maior nível salino. É importante destacar que a concentração de 11,0 mg L⁻¹ de selênio estabeleceu um maior valor de 458,25 mg g⁻¹ para a variável quando foram irrigadas com CEa de 0,4 dS m⁻¹, o que representa um aumento de 14,29% (57,29 mg g⁻¹) ao comparar com a testemunha irrigada com o mesmo nível salino.

Figura 1. Teores de clorofila *a* – Cl *a* (A), *b* – Cl *b* (B), total – Cl total (C) e carotenoides – Car (D), do quiabeiro, em função da interação entre os níveis de condutividade elétrica na água de irrigação – CEa e das concentrações de selênio – Se, aos 35 dias após o semeio.



X e Y - Concentração de selênio e Condutividade elétrica da água, respectivamente; *, ** e ^{ns} Significativo a p ≤ 0,05, 0,01 e não significativo, mutualmente.

De forma semelhante ao que ocorreu na clorofila *a* (Figura 1A) e clorofila *b* (Figura 1B) observa-se que o valor máximo estimado de 2578,98 mg g⁻¹ para a clorofila total (Figura 1C) foi observado sob CEa de 0,4 dS m⁻¹ e concentração de 11,0 mg L⁻¹ de Se, representando incrementos de 7,84% (187,55 mg g⁻¹) ao comparar com a testemunha irrigada com o mesmo nível salino. A irrigação com água salina na concentração de 3,1 dS m⁻¹ associadas a aplicação de 0,0 mg L⁻¹ de selênio estabeleceram o valor mínimo estimado de 1704,97 mg g⁻¹, representando uma redução de 33,89% (874,01 mg g⁻¹) em comparação com a plantas de quiabeiro irrigadas com CEa de 0,4 dS m⁻¹ pulverizadas com 11,0 mg L⁻¹ de Se.

O aumento da CEa de 0,4 para 3,1 dS m⁻¹ proporcionou um decréscimo de 36,52% (236,90 mg g⁻¹) para os carotenoides (Figura 1D) do quiabeiro. Os maiores valores independentemente da condutividade elétrica na água de irrigação foram constatados quando houve a aplicação foliar de selênio na concentração de 14,0 mg L⁻¹, representado pelo maior valor médio estimado de 726,37 mg g⁻¹ em plantas irrigadas com CEa de 0,4 dS m⁻¹, sendo 11,98% (77,70 mg g⁻¹) maior que os observados em plantas cultivadas sob o mesmo nível salino, mas sem a aplicação do Se (0,0 mg L⁻¹). Corroborando com os resultados encontrados na Cl *a* (Figura 1A), Cl *b* (Figura 1B) e Cl *t* (Figura 1C), constatou-se que o menor valor de 489,47 mg g⁻¹ foi observado em plantas irrigadas com CEa 3,1 dS m⁻¹ pulverizados com 0,0 mg L⁻¹ da substância, correspondendo a uma redução de 43,31% em relação ao valor máximo.

CONCLUSÃO

A irrigação com água com condutividade elétrica a partir de 0,4 dS m⁻¹ inibe a síntese de pigmentos fotossintéticos das plantas de quiabeiro. A aplicação de selênio na concentração de 11,0 mg L⁻¹ proporciona eleva os teores de clorofila *a*, *b* e clorofila total de plantas de quiabeiro independentemente do nível salino da água. A concentração de 14,0 mg L⁻¹ de selênio resulta os maiores valores para os carotenoides de plantas de quiabo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao CAPES pelo apoio financeiro por meio da concessão de bolsa. Também agradeço ao Grupo de Pesquisa MASP e a todos os seus integrantes pelo suporte técnico, contribuições científicas e constante colaboração ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- Abasi, F.; Raja, N. I.; Mashwani, Z. U. R.; Ali, H.; Mehmood, A.; Rahimi, M. Nanomaterials for Plant Resilience: A Green Approach to Combating Biotic Stress. *BioNanoScience*, p. 1-16, 2024.
- Amerian, M.; Palangi, A.; Gohari, G.; Ntatsi, G. Enhancing salinity tolerance in cucumber through Selenium biofortification and grafting. *BMC Plant Biology*, v. 24, p. 24, 2024.
- Balasubramaniam, T.; Shen, G.; Esmaeili, N.; Zhang, H. Plants' response mechanisms to salinity stress. *Plants*, v. 12, n. 12, p. 2253, 2023.
- Cruz, A. C. F.; Santos, R. P.; Iarema, L.; Fernandes, K. R. G.; Kuki, K. N.; Araújo, R. F.; Otoni, W. C. Métodos comparativos na extração de pigmentos foliares de três híbridos de *Bixa orellana* L. *Revista Brasileira de Biociências*, v.5, Supl.2, p.777-779, 2007.
- Daliu, P.; Annunziata, G.; Tenore, G. C.; Santini, A. Abscisic acid identification in Okra, *Abelmoschus esculentus* L. (Moench): Perspective nutraceutical uses for the treatment of diabetes. *Natural product research*, v. 34, n. 1, p. 3-9, 2020.
- Hasanuzzaman, M.; Bhuyan, M. B.; Raza, A.; Hawrylak-Nowak, B.; Matraszek-Gawron, R.; Nahar, K.; Fujita, M. Selenium toxicity in plants and environment: biogeochemistry and remediation possibilities. *Plants*, v. 9, n. 12, p. 1711, 2020.
- Khan, Y.; Sadia, H.; Ali Shah, S. Z.; Khan, M. N.; Shah, A. A.; Ullah, N.; Bibi, H.; Bafakeeh, O. T.; Khedher, N. B.; Eldin, S. M.; Fadhl, B. M.; Khan, M. I. Classification, synthetic, and characterization approaches to nanoparticles, and their applications in various fields of nanotechnology: a review. *Catalysts*, v. 12, n. 11, p. 1386, 2022.
- Nedjimi, B. Selenium as a powerful trace element for mitigation of plant salt stress: A review. *Journal of Trace Elements and Minerals*, p. 100123, 2024.
- Roque, I. A.; Soares, L. A. dos A.; Lima, G. S. de; Lopes, I. A. P.; Silva, L. de A.; Dantas, M. V.; Torres, R. A. F.; Lima, V. L. A. de. Okra cultivation under irrigation with saline water and foliar application of hydrogen peroxide. *Revista Ambiente & Água*, v. 19, p. e2980, 2024.
- Röthig, T.; Trevathan-Tackett, S. M.; Voolstra, C. R.; Ross, C.; Chaffron, S.; Durack, P. J.; Warmuth, L. M.; Sweet, M. Human-induced salinity changes impact marine organisms and ecosystems. *Global change biology*, v. 29, n. 17, p. 4731-4749, 2023.
- Soares, L. A. dos A.; Silva, R. G. da; Lima, G. S. de; Sales, G. N. B.; Costa, F. B. da; Neta, A. M. de S. S.; Moreira, R. C. L. M.; Gomes, J. P. Conservação láctica e caracterização físico-química do quiabo produzido sob salinidade da água e adubação potássica. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 41, p. 2495-2508, 2020.
- Wellburn, A. R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal of Plant Physiology*, v.144, p.307-313, 1994.
- Yadav, R. K.; Singh, N. B.; Singh, A.; Yadav, V.; Bano, C.; Khare, S.; Niharika. Expanding the horizons of nanotechnology in agriculture: recent advances, challenges and future perspectives. *Vegetos*, v. 33, p. 203-221, 2020.
- Zhou, H.; Shi, H.; Yang, Y.; Feng, X.; Chen, X.; Xiao, F.; Lin, H.; Guo, Y. Insights into plant salt stress signaling and tolerance. *Journal of Genetics and Genomics*, v. 51, n. 1, p. 16-34, 2024.