

INTERAÇÃO DE ÁCIDO SILÍCICO E SULFATO DE POTÁSSIO COMO ESTRATÉGIA PARA REDUZIR O SÓDIO NO SOLO E EM MUDAS DE MARACUJÁ-AMARELO

Alicia Camila Zeferino da Silva¹, Evandro Franklin de Mesquita², Samuel Barbosa Alves³,
Raquel Alice Silveira Alves³, Caio da Silva Sousa⁴, Vitória Carolina da Silva Soares⁵.

RESUMO: O maracujá-amarelo é sensível à salinidade em todas as fases do ciclo, com maior impacto no estágio de mudas. O excesso de sais, principalmente sódio, prejudica o crescimento ao afetar a absorção de nutrientes e o equilíbrio fisiológico. A aplicação de silício e potássio tem se mostrado eficaz para mitigar esses efeitos e aumentar a tolerância ao estresse salino. Este estudo teve como objetivo avaliar a interação entre diferentes doses de ácido silícico (1,26; 2,52; 3,78 e 5,04 g dm³) e sulfato de potássio (150 e 600 mg dm³) na atenuação do estresse salino, com foco na concentração de sódio na solução do solo e nas plantas de maracujá-amarelo. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado, arranjo fatorial 4 × 2 + 2, com cinco repetições, totalizando 50 unidades experimentais. As irrigações dos tratamentos e da testemunha 1 foram realizadas com água salina (4,0 dS m⁻¹), enquanto a testemunha 2 recebeu água de baixa salinidade (0,5 dS m⁻¹). Os dados foram submetidos à ANOVA, regressão polinomial e teste de Dunnett (p < 0,05). Consta que a interação entre silício e potássio, especialmente nas maiores doses, reduziu o acúmulo de sódio na solução do solo e nos tecidos vegetais.

PALAVRAS-CHAVE: *Passiflora edulis f. flavicarpa* Deg., Estresse salino, Atenuador.

¹ Mestre em Ciências Agrárias, PPGCA, Universidade Estadual da Paraíba, UEPB, Campina Grande, PB. Fone: (84) 99224-8306. Email: aliciazefer@gmail.com

² Prof. Doutor na Universidade Estadual da Paraíba, UEPB, Catolé do Rocha, PB.

³ Graduando em Agronomia, Universidade Estadual da Paraíba, UEPB, Catolé do Rocha, PB.

⁴ Mestre em Horticultura Tropical, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Pombal, PB.

⁵ Especialista em Agronomia, FAVENI-Faculdade Venda Nova do Imigrante, IESX_PPROV, Brasil.

INTERACTION OF SILICIC ACID AND POTASSIUM SULFATE AS A STRATEGY TO REDUCE SODIUM IN THE SOIL AND IN YELLOW PASSION FRUIT SEEDLINGS

ABSTRACT: Yellow passion fruit is sensitive to salinity in all phases of the cycle, with a greater impact on the seedling stage. Excess salts, especially sodium, impair growth by affecting nutrient absorption and physiological balance. The application of silicon and potassium has been shown to be effective in mitigating these effects and increasing tolerance to salt stress. The objective of this study was to evaluate the interaction between different doses of silicic acid (1.26, 2.52, 3.78 and 5.04 g dm³) and potassium sulfate (150 and 600 mg dm³) in the attenuation of salt stress, focusing on sodium concentration in the soil solution and in yellow passion fruit plants. The experiment was carried out in a greenhouse, in a completely randomized design, with a factorial arrangement of 4 × 2 + 2, with five replications, totaling 50 experimental units. The irrigations of the treatments and control 1 were carried out with saline water (4.0 dS m⁻¹), while control 2 received low salinity water (0.5 dS m⁻¹). Data were submitted to ANOVA, polynomial regression, and Dunnett's test (p < 0.05). It finds that the interaction between silicon and potassium, especially at the highest doses, reduced the accumulation of sodium in the soil solution and in plant tissues.

KEYWORDS: *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg., Salt stress, Attenuator.

INTRODUÇÃO

A salinidade é um problema global que afeta cerca de 1 bilhão de hectares, com maior incidência em regiões áridas e semiáridas (Wicke et al., 2011). No Brasil, destaca-se no semiárido nordestino, onde limita a produtividade agrícola ao interferir em processos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos das plantas (Li et al., 2022). Entre os efeitos negativos estão o estresse osmótico, a toxicidade iônica e o estresse oxidativo. A sensibilidade do maracujá-amarelo à salinidade foi comprovada por Ayres e Westcot (1999) e Oliveira et al. (2015), com reduções na emergência, crescimento e acúmulo de matéria seca. Dada a relevância econômica e social da cultura no Brasil, especialmente para a agricultura familiar, o uso de estratégias nutricionais torna-se essencial para mitigar os efeitos do estresse salino (Santos e Brito, 2016). O silício (Si) atua no fortalecimento celular, na eficiência fotossintética e na resistência ao estresse (Datnoff et al., 2001), enquanto o potássio (K⁺) é essencial ao

metabolismo vegetal e resposta ao estresse (Ahmad & Sharma, 2008). A interação entre ambos reduz a absorção de sódio e favorece o acúmulo de Si e K⁺, contribuindo para maior tolerância ao estresse salino (Oraee & Tehranifar, 2023). Diante disso, a interação do ácido silícico e sulfato de potássio surge como uma alternativa inovadora, com potencial ainda pouco investigado, na atenuação dos efeitos da salinidade preservando a qualidade das mudas. O objetivo desse estudo está em avaliar a interação entre esses dois adubos na mitigação dos efeitos do estresse salino em mudas de maracujá-amarelo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido entre junho e setembro de 2024, em casa de vegetação da UEPB, Campus IV, em Catolé do Rocha–PB. Em que a cultura avaliada foi o maracujá-amarelo BRS Gigante Amarelo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg.) em estágio de mudas. semeado em bandejas e, posteriormente, transplantado para sacos de 3 L, o substrato foi composto por Neossolo Flúvico Eutrófico e esterco bovino em proporção 1:1, cujo teor de sódio detectado foi de 0,05 cmolc dm⁻³ e 3,5 g kg⁻¹, respectivamente, em análises que antecederam o experimento.

O delineamento foi inteiramente casualizado (DIC), em arranjo fatorial 4 × 2 + 2, com cinco repetições. Foram aplicadas quatro doses de ácido silícico (1,26; 2,52; 3,78 e 5,04 g dm³) combinadas com duas doses de sulfato de potássio (150 e 600 mg dm³), via fertirrigação, fracionadas em quatro aplicações. As plantas foram irrigadas com água salinizada (CE = 4,0 dS m⁻¹), exceto a testemunha 2, que recebeu água de baixa salinidade (0,5 dS m⁻¹), cujo teor de sódio da água, em análises anteriores ao experimento, foi de 1,03 mmolc/L. Ao final do experimento, os teores de sódio (Na⁺) no solo e nas plantas foram determinados por espectrofotometria de emissão em chama. No solo, o Na⁺ foi extraído com solução de acetato de amônio 1 mol L⁻¹ (pH 7,0), e nas plantas, após digestão nitro-perclórica de material foliar seco, conforme metodologias descritas por Embrapa (2017) e Malavolta et al. (1997).

Primeiramente, avaliou-se a normalidade dos resíduos pelo teste de Shapiro–Wilk e a homogeneidade das variâncias pelo teste de Bartlett. Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F, considerando-se um nível mínimo de confiança de 95%. Quando o efeito do fator silício e/ou de sua interação apresentou significância, ajustaram-se modelos de regressão polinomial de primeiro e/ou segundo grau, conforme indicado pelo teste F. Para a comparação simultânea das médias dos tratamentos com as médias das testemunhas 1 e 2, aplicou-se o teste de Dunnett (p < 0,05) (Azevedo, 2022). As

análises estatísticas foram conduzidas no software R, enquanto os gráficos foram produzidos no SigmaPlot 15.0, especializado em visualização e análise de dados científicos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pelo resumo da análise de variância (Tabela 1), houve efeito significativo dos fatores isolados silício e potássio para o teor de sódio (Na) no substrato, indicando independência dos fatores. Assim, silício e potássio interferem na dinâmica da fertilidade do substrato e, por sua vez, atenuam o estresse abiótico da salinidade da água na cultura do maracujá-amarelo, sendo primordial nas regiões semiáridas. Já nos teores de sódio (Na) foliar nas mudas de maracujá-amarelo, constata efeito significativo para a interação silício \times potássio, conforme o teste F ($p \leq 0,01$), indicando dependência dos fatores.

Tabela 1 - Síntese da análise de variância (Quadrado médio) para teor de sódio (Na) no solo e nas folhas em detrimento as doses aplicadas de silício e potássio.

Fonte de Variação	GL	Quadrado médio	
		Na (Substrato)	Na (Foliar)
Silício	3	4,28**	86,82**
Potássio	1	0,54**	100,17**
Interação	3	0,13 ^{ns}	1,97**
Testemunha	1	43,76**	790,32**
Testemunha vs Comuns	1	3,31**	117,19**
Resíduo	40	0,35	1,36
CV		16,48	5,03

ns : não significativo ($p < 0,05$); * : significativo a 5% de probabilidade ($p < 0,05$); ** : significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$); CV: Coeficiente de variação.

Para avaliar a eficácia do ácido silícico e sulfato de potássio na mitigação dos efeitos da salinidade, foram analisados os teores de sódio trocável no solo em função das doses aplicadas (Figura 1). O aumento das doses de ácido silícico no substrato reduziu linearmente o teor de sódio trocável no solo, com queda de 53% entre 1,26 e 5,04 g dm⁻³. A dose de 5,04 g dm⁻³ apresentou valores estatisticamente inferiores às testemunhas, mostrando a eficácia do silício em diminuir o Na⁺ disponível e mitigar a salinidade. O ácido silícico, na forma de ácido monossilícico, reduz a toxicidade causada pelo excesso de Na⁺ e Cl⁻, limitando a mobilidade do sódio e protegendo o metabolismo celular (Chakraborty et al., 2016; Liang et al., 2007). O silício, junto à matéria orgânica, aumenta a capacidade de troca catiônica do solo, formando coloides que retêm nutrientes e competem com o sódio, favorecendo Ca²⁺ e K⁺. O potássio

contribui para a turgidez celular, limita a absorção de Na^+ e promove sua lixiviação (Dias et al., 2019). Além disso, melhora as relações $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ e K^+/Na^+ , mantendo a estabilidade física do solo.

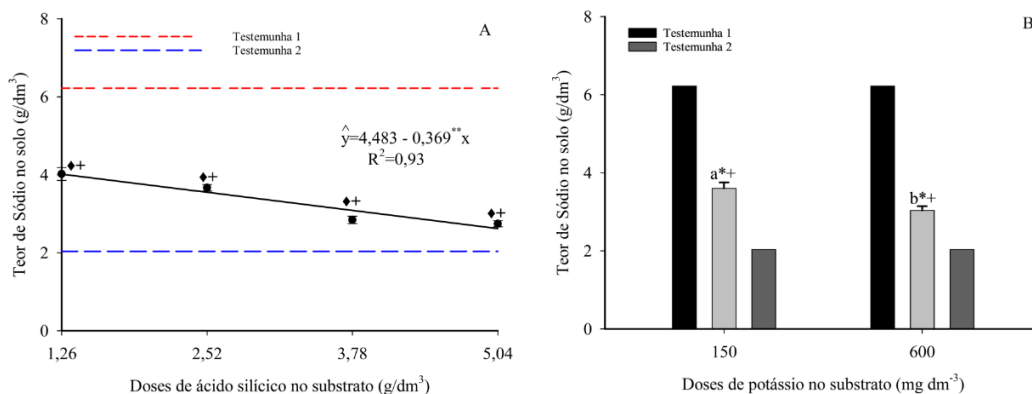


Figura 1. Teor de sódio no substrato em função de doses de ácido silícico (A) e de potássio (B) aplicadas.

** significativos a 1% de probabilidade pelo teste F; \diamond e + se diferem do tratamento testemunha 1 e da testemunha 2, respectivamente, pelo teste Dunnett ($p < 0,05$).

Os teores de sódio no solo e nas folhas estão diretamente relacionados, refletindo o impacto da salinidade na absorção do íon. A figura 2 mostra que o aumento das doses de ácido silícico reduziu linearmente o Na^+ foliar em ambas as doses de potássio (150 e 600 mg dm^{-3}), com redução de 34,50% e 12,57%. Isso decorre da menor disponibilidade de Na^+ no solo, causada pelo aumento de silício e potássio. O sulfato de potássio favorece a absorção de K^+ , reduzindo o Na^+ e a relação Na^+/K^+ nas folhas (Raza et al., 2014). O silício forma complexos com Na^+ , dificultando sua translocação e promovendo K^+ (Assaha et al., 2017).

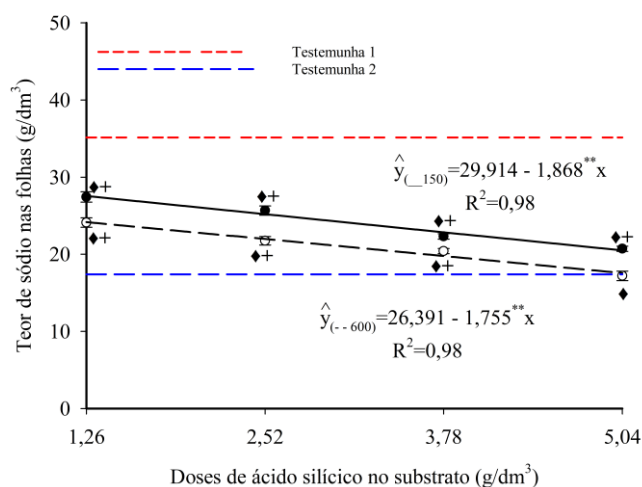


Figura 2. Teor de sódio nas folhas em função de doses de ácido silícico e de potássio aplicadas.

** significativos a 1% de probabilidade pelo teste F; \diamond e + se diferem do tratamento testemunha 1 e da testemunha 2, respectivamente, pelo teste Dunnett ($p < 0,05$).

Os tratamentos com silício e potássio reduziram significativamente os teores de sódio (Na^+) nas folhas em relação à testemunha 1 ($35,15 \text{ g kg}^{-1}$). A combinação de $5,04 \text{ g dm}^{-3}$ de ácido silícico com 600 mg dm^{-3} de potássio alcançou teor próximo ao da testemunha 2 ($17,19$ vs. $17,39 \text{ g kg}^{-1}$), mostrando maior eficiência. Isso indica ação conjunta dos dois elementos na redução da absorção de Na^+ , conforme Coskun et al. (2016) e Zhu et al. (2019). O teste de Dunnett confirmou diferenças significativas ($p < 0,05$), exceto na maior dose ($5,04 \text{ g dm}^{-3}/ 600 \text{ mg dm}^{-3}$). A menor concentração de Na^+ está associada ao maior acúmulo de K^+ e Si nas folhas, corroborando Oraee et al. (2023) sobre a exclusão eficiente de Na^+ e a preservação do equilíbrio iônico.

CONCLUSÕES

A redução do sódio trocável no substrato, promovida pelo ácido silícico e sulfato de potássio, resultou em menor absorção e acúmulo de Na^+ nas folhas do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* Sims), demonstrando a eficácia do manejo do solo para controlar a salinidade e proteger a fisiologia vegetal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMAD, P.; SHARMA, S. Salt stress and phytohormone signaling in plants. **Plant Signaling & Behavior**, v. 38, p. 563–568, 2008.
- ASSAHA, D.V.; UEDA, A.; SANEOKA, H.; AL-YAHYAI, R.; YAISH, M.W. The role of Na^+ and K^+ transporters in salt stress adaptation in glycophytes. **Frontiers in physiology**, v. 8, p. 509, 2017.
- AYRES, R. S., WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. 2nd ed. Campina Grande: UFPB. 1999.
- AZEVEDO, A. **Tratamentos.ad: Pacote Para Análise De Experimentos Com Testemunhas Adicionais**. R package version 0.2.4, <<https://CRAN.R-project.org/package=Tratamentos.ad>>. 2022
- COSKUN, D.; BRITTO, D.T.; HUYNH, W. Q.; KRONZUCKER, H. J. The role of silicon in higher plants under salinity and drought stress. **Frontiers in plant science**, v. 7, p. 1072, 2016.

DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. Silicon in Agriculture. **Studies in Plant Science**, v. 8, 2001. 279 p.

DIAS, A.S. LIMA, G.S.D.; PINHEIRO, F.W.A. GHEYI, H.R.; SOARES, L.A.D.A. Gas exchanges, quantum yield and photosynthetic pigments of West Indian cherry under salt stress and potassium fertilization. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 2, p. 429-439, 2019.

LIANG, Y.C.; SUN, W.; ZHU, Y.G.; CHRISTIE, P. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: a review. **Environmental pollution**, v. 147, n. 2, p. 422-428, 2007.

LI, L.; QI, Q.; ZHANG, H.; DONG, Q.; IQBAL, A.; GUI, H.; KAYOUMU, M.; SONG, M.; ZHANG, X.; WANG, X. Ameliorative Effects of Silicon against Salt Stress in *Gossypium hirsutum* L. **Antioxidants**, v.11, 1520, 2022.

OLIVEIRA, F. A.; LOPES, M. A. C.; SÁ, F. V. S.; NOBRE, R. G.; MOREIRA, R. C. L.; SILVA, L. A.; PAIVA, E. P. Interação da salinidade da água de irrigação e do substrato na produção de mudas de maracujazeiro-amarelo. **Comunicata Scientiae**, v. 6, n. 4, p. 471–478, 2015.

ORAEE, A.; TEHRANIFAR, A. Relationship between silicon through potassium silicate and salinity tolerance in *Bellis perennis* L. **Silicon**, v. 15, n. 1, p. 93-107, 2023.

RAZA, M.A.S.; SALEEM, M.F.; SHAH, G.M.; KHAN, I.H.; RAZA, A. Exogenous application of glycinebetaine and potassium for improving water relations and grain yield of wheat under drought. **Journal of soil science and plant nutrition**, v. 14, n. 2, p. 348-364, 2014.

SANTOS, M. R.; BRITO, C. F. B. Irrigação com água salina, opção agrícola consciente. **Revista Agrotecnologia**, Ipameri, v.7, n.1, p.33-41, 2016.

SONI, R.; PRAKASH, G.; SHARMA, S.; SINHA, D.; MISHRA, R. Role of microbes in alleviating abiotic stress in plants. **Plant Science Today**, v. ? (Early Access), 13 maio 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/370759303_Role_of_microbes_in_alleviating_abiotic_stress_in_plants. Acesso em: 28 maio. 2025.

WICKE, B.; SMEETS, E.; DORNBURG, V.; VASHEV, B.; GAISER, T.; TURKENBURG, W.; FAAIJ, A. The global technical and economic potential of bioenergy from salt-affected soils. **Energy & Environmental Science**, v. 4, n. 8, p. 2669-2681, 2011.

ZHU, Y.X.; GONG, H.J.; YIN, J.L. Role of silicon in mediating salt tolerance in plants: a review. **Plants**, v. 8, n. 6, p. 147, 2019.