

ACÚMULO DE CÁTIOS EM SOLO CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR SOB MANEJO DA SALINIDADE COM FRAÇÃO DE LIXIVIAÇÃO

Edimir Xavier Leal Ferraz¹, Arik Mendes Estima², Anny Larissa Maria Xavier Rodrigues dos Santos³, Kézia Ferreira Nogueira⁴, José Edson Florentino de Moraes⁵, Ênio Farias de França e Silva⁶

RESUMO: A salinidade é um problema recorrente em áreas irrigadas, limitando o desenvolvimento de diversas culturas, como a cana-de-açúcar, que apresenta sensibilidade a salinidade. Nesse contexto, a aplicação da fração de lixiviação torna-se uma estratégia importante, embora possa interferir na dinâmica de cátions essenciais no solo. Diante disso, objetivou-se avaliar o acúmulo de cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+) solúveis do solo cultivado com cana-de-açúcar irrigada com água de elevada salinidade, sob manejo de lixiviação. O experimento foi conduzido na UFRPE, em Recife-PE, em uma estação lisimétrica, utilizando lisímetros cultivados com cana-de-açúcar. O delineamento foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5×2 , com cinco níveis de salinidade da água (0,5; 2,5; 4,5; 6,5 e 8,5 dS m^{-1}) e dois manejos hídricos: sem (SFL) e com fração de lixiviação de 0,2 (CFL), com quatro repetições, totalizando 40 unidades experimentais. A irrigação foi por gotejamento, com solução salinizada por NaCl e $\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (1:1 molar). Aos 90 e 160 dias após o plantio, coletou-se amostras de solo (0-0,40 m) para análise dos teores de cátions no extrato de saturação do solo. A salinidade da água de irrigação elevou os teores de cátions no solo, especialmente de Na^+ , cujo acúmulo foi reduzido com a aplicação da fração de lixiviação.

PALAVRAS-CHAVE: Manejo de salinidade, *Saccharum* spp., estresse salino

¹ Mestre em Engenharia Agrícola, Depto. de Engenharia Agrícola, UFRPE, Recife, PE.

² Graduando em Engenharia Agrícola, Depto. de Engenharia Agrícola, UFRPE, Recife, PE, arik_estima@hotmail.com

³ Graduanda em Engenharia Agrícola, Depto. de Engenharia agrícola, UFRPE, Recife, PE

⁴ Mestra em Engenharia Agrícola, Depto. de Engenharia agrícola, UFRPE, Recife, PE

⁵ Doutor em Engenharia Agrícola, Depto. de Engenharia agrícola, UFRPE, Recife, PE

⁶ Prof. Doutor e Irrigação e Drenagem, Depto. de Engenharia agrícola, UFRPE, Recife, PE.

CATION ACCUMULATION IN SOIL CULTIVATED WITH SUGARCANE UNDER SALINITY MANAGEMENT WITH LEACHING FRACTION

ABSTRACT: Salinity is a recurring issue in irrigated areas, limiting the development of various crops, such as sugarcane, which is sensitive to salinity. In this context, the application of a leaching fraction becomes an important strategy, although it may interfere with the dynamics of essential soil cations. Therefore, the objective of this study was to evaluate the accumulation of soluble cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , and Na^+) in soil cultivated with sugarcane irrigated with high-salinity water, under leaching management. The experiment was conducted at UFRPE, in Recife-PE, at a lysimetric station, using lysimeters cultivated with sugarcane. The experimental design was completely randomized, in a 5×2 factorial scheme, consisting of five salinity levels of irrigation water (0.5, 2.5, 4.5, 6.5, and 8.5 dS m^{-1}) and two water management strategies: without (SFL) and with a leaching fraction of 0.2 (CFL), with four replicates, totaling 40 experimental units. Irrigation was applied via drip system, using a saline solution composed of NaCl and $\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ in a 1:1 molar ratio. At 90 and 160 days after planting, soil samples (0-0.40 m) were collected for analysis of cation concentrations in the soil saturation extract. The salinity of the irrigation water increased soil cation levels, especially Na^+ , whose accumulation was reduced by the application of the leaching fraction.

KEYWORDS: Salinity management; *Saccharum* spp.; Salt stress

INTRODUÇÃO

A salinidade do solo é um problema recorrente em áreas irrigadas, especialmente em regiões semiáridas ou sujeitas à intrusão salina, como ocorre nos tabuleiros costeiros (Medeiros; Nascimento; Gheyi, 2016). Nessas áreas, destaca-se o cultivo da cana-de-açúcar, cultura de grande relevância econômica no cenário nacional e internacional, com produção estimada no Brasil na safra 2024/2025 em 678,60 milhões de toneladas, cultivadas em uma área de 8,69 milhões de hectares (CONAB, 2025).

Apesar de sua importância, a cana-de-açúcar é considerada moderadamente sensível à salinidade, apresentando um limiar de tolerância de 1,7 dS m^{-1} (Maas; Hoffman, 1977). Em ambientes com alta salinidade, o crescimento da planta é comprometido, impactando negativamente a produtividade e a qualidade industrial (Morais et al., 2022).

Nesse contexto, torna-se essencial adotar estratégias de manejo que possibilitem a produção sustentável da cana-de-açúcar em áreas afetadas pela salinidade. Entre essas estratégias, destaca-se a aplicação da fração de lixiviação, que consiste na aplicação de uma lâmina adicional de água de irrigação com o objetivo de deslocar o excesso de sais para além da zona radicular da planta (Duarte et al., 2023). No entanto, esse manejo pode resultar na lixiviação de cátions essenciais para o metabolismo vegetal, como o potássio (K^+), o que pode se tornar um fator limitante ao desenvolvimento da cultura (Taiz et al., 2017).

Dessa forma, torna-se fundamental avaliar o impacto do uso de frações de lixiviação sobre a dinâmica de cátions no solo. Assim, o presente trabalho teve como objetivo quantificar o acúmulo de cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+) na solução de solo cultivado com cana-de-açúcar irrigado com água salina e sob manejo com frações de lixiviação.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), no Departamento de Engenharia Agrícola (DEAGRI), na Estação de Agricultura Irrigada Professor Ronaldo Freire de Moura, nas coordenadas geográficas $8^{\circ}01'06''$ S e $34^{\circ}56'49''$ W, a uma altitude de 6 metros. O clima local é do tipo As, segundo Köppen (Alvares et al., 2013).

A área experimental conta com uma estação agrometeorológica automática (Campbell Scientific, modelo CR1000/CFM100/OS100) equipada com sensores para precipitação, temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento, radiação solar e pressão atmosférica. Também há uma estação lisimétrica composta por 40 lisímetros de drenagem, com capacidade de volume de $1m^3$. Os lisímetros foram preenchidos com Espodossolo Humilúvico oriundo do município de Goiana-PE (Santos et al., 2018).

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 5×2 que corresponde a cinco níveis de salinidade da água de irrigação (CEa: 0,5; 2,5; 4,5; 6,5; e $8,5 \text{ dS m}^{-1}$) e os manejos de irrigação sem (SFL) e com aplicação de fração de lixiviação (CFL) equivalente a 0,2, com quatro repetições, totalizando 40 unidades experimentais. Cada parcela experimental foi representada por um lisímetro de drenagem.

Antes da implantação da cana-de-açúcar efetivou-se a correção e adubação conforme os resultados da análise de solo e as recomendações de adubação para cana-de-açúcar no Estado de Pernambuco (Cavalcanti, 2008) e os resultados de extração nutricional apresentados por

Wanderley et al. (2021). A irrigação foi realizada com um sistema de gotejamento com gotejadores PCJ/CNL da NETAFIM®, com vazão média de 4 L h⁻¹.

A variedade de cana-de-açúcar utilizada foi a RB041443, proveniente da Estação Experimental de Cana-de-açúcar do Carpina (EECAC-UFRPE). Para efetivar o plantio, utilizou-se seis rebolos de três gemas por metro linear, que após emergir foi padronizado para doze plantas por metro.

Os níveis de salinidade foram estabelecidos pela adição de NaCl e CaCl₂·H₂O à água de abastecimento local da UFRPE, adotando uma proporção molar Ca/Na de 1:1 seguindo a metodologia descrita por Richards (1954). A aplicação dos níveis salinos iniciou-se apenas após os 45 dias após o plantio (DAP), com manejo baseado na evapotranspiração da cultura (ET_c) calculada como o produto entre a evapotranspiração de referência (ET_o), o coeficiente de cultivo (K_c), o coeficiente de localização (K_l). A estimativa da ET_o foi realizada pelo método de Penman-Monteith (Allen et al., 1998), os valores de K_c foram os recomendados por Doorenbos e Pruitt (1977) e o K_l de acordo com a metodologia descrita por Keller e Bliesner (1990).

Aos 90 e 160 dias após o plantio, foram coletadas amostras compostas de solo em cada parcela experimental, na profundidade de 0-0,40 m. A partir dessas amostras, foi preparada uma pasta saturada, da qual se extraiu a solução do solo utilizando uma bomba a vácuo. Em seguida, os cátions Na⁺, K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ foram determinados utilizando o protocolo proposto por Teixeira et al. (2017), sendo o Na⁺ e o K⁺ quantificados por fotometria de chama, enquanto o Ca²⁺ e o Mg²⁺ foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância por meio do teste F ($p \leq 0,05$). Quando identificado efeito significativo do fator salinidade, realizou-se análise de regressão. Todas as análises estatísticas foram realizadas no software R (R Core Team, 2020).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância indicou interação significativa ($p \leq 0,05$) entre a salinidade da água e a fração de lixiviação nos teores de todos os cátions, exceto para o Ca²⁺ aos 90 DAP, influenciado apenas pela salinidade.

O sódio foi o cátion mais responsivo, com maior acúmulo no solo. Aos 90 DAP (Figura 1A), o manejo SFL apresentou maior incremento unitário (1,93 mmol L⁻¹) de Na⁺, enquanto aos 160 DAP (Figura 1B), esse valor foi reduzido para 1,49 mmol L⁻¹, possivelmente devido à

redistribuição do Na^+ no perfil do solo em função das chuvas. No manejo CFL, os incrementos foram menores: $1,29 \text{ mmol L}^{-1}$ (90 DAP) e $1,05 \text{ mmol L}^{-1}$ (160 DAP), evidenciando a eficácia desse manejo na remoção de Na^+ do solo. Esses resultados estão em consonância com os achados de Lira et al. (2018), que relataram maior concentração de sódio no lixiviado em sistemas com aplicação de fração de lixiviação.

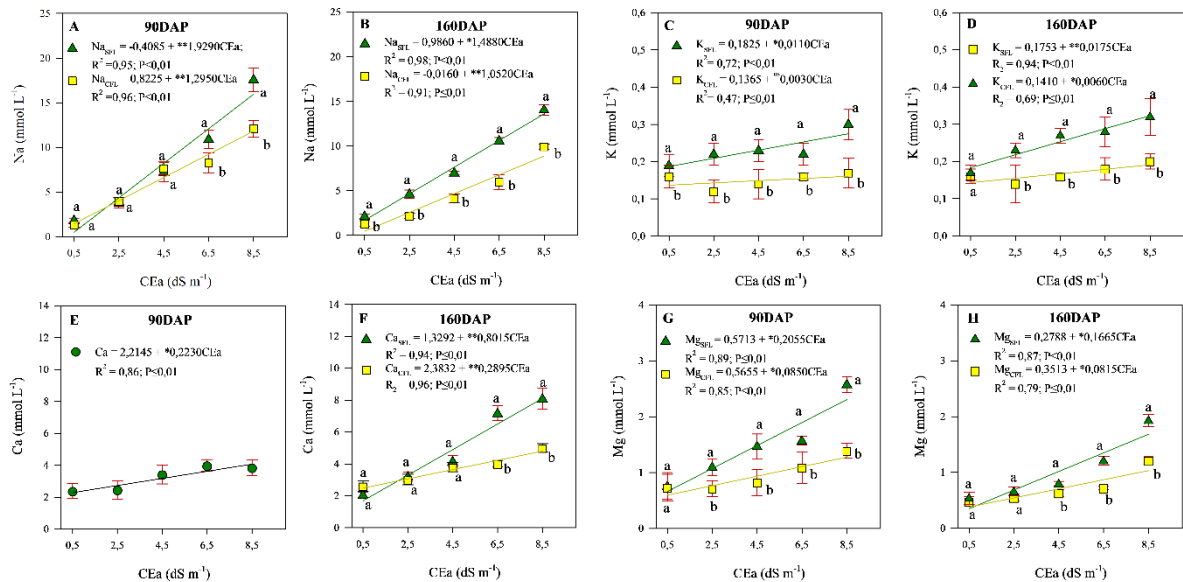


Figura 1. Análise de regressão para a concentração de cátions (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+}) no extrato de saturação do solo aos 90 e 160 dias após o plantio em função da salinidade da água de irrigação e manejos de lixiviação

De acordo com Zhang et al. (2019), a utilização de fração de lixiviação associada à irrigação favorece o deslocamento dos sais para camadas mais profundas. Esse controle da salinidade na região da rizosfera contribui para a manutenção de um ambiente mais favorável ao crescimento das plantas, permitindo o desenvolvimento e a produtividade mesmo sob condições de elevada salinidade da água, como destacam Moraes et al. (2022).

Entre os cátions avaliados, o potássio (Figuras 2C e 2D) apresentou os menores coeficientes angulares, indicando baixo acúmulo com o aumento da CEa. Isso pode ser devido à ausência de K^+ nas fontes salinas e à maior absorção pelas plantas em menor salinidade, quando o desenvolvimento vegetativo é maior. Além disso, a competição iônica que favorece a absorção de Na^+ , quando em alta concentração, em detrimento do K^+ (Taiz et al., 2017).

Aos 90 DAP (Figura 1E), a salinidade promoveu um incremento unitário de $0,223 \text{ mmol L}^{-1}$ de Ca^{2+} . Aos 160 DAP (Figura 1F), os teores de Ca^{2+} foram de $0,801 \text{ mmol L}^{-1}$ (SFL) e $0,289 \text{ mmol L}^{-1}$ (CFL). O acúmulo de magnésio (Figura 1G e 1H) aos 90 DAP, teve incrementos unitários de $0,205 \text{ mmol L}^{-1}$ (SFL) e $0,085 \text{ mmol L}^{-1}$ (CFL); aos 160 DAP, $0,166 \text{ mmol L}^{-1}$

(SFL) e 0,081 mmol L⁻¹ (CFL). A redução dos teores ao longo do tempo pode estar relacionada à maior absorção pelas plantas ou à lixiviação pelas chuvas.

CONCLUSÕES

O aumento da salinidade da água de irrigação aumentou o acúmulo de cátions solúveis do solo. A aplicação da fração de lixiviação mostrou-se eficaz na redução do acúmulo de cátions solúveis do solo, especialmente do sódio (Na⁺), contribuindo para a redução da toxicidade no ambiente radicular.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao INCT em Agricultura Sustentável no Semiárido Tropical-INCTAGriS (CNPq/Funcap/Capes), processos 406570/2022-1 (CNPq) e Processo INCT-35960-62747.65.95/51 (Funcap)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56)
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. D. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- CAVALCANTI, F. J. A. **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco**. 2. ed. Recife: Instituto Agrônomo de Pernambuco, 2008. 198p.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar - 3º levantamento – safra 2024/25**. Brasília: Conab, 2025. 56p.

- DOORENBOS, J. Y.; PRUITT, W. O. **Crop water requirements**. FAO Estudio de Riego y Drenaje, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, n. 24, 1977. 144p.
- DUARTE, S. N.; SILVA, Ê.F.D.F.; MIRANDA, J.H.D.; MEDEIROS, J.F.D.; COSTA, R.N.T.; GHEYI, H.R. **Fundamentos de drenagem agrícola**. Piracicaba: LEB/ESALQ/USP, 2023. 339p. (Série didática, n. 19).
- KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Avibook., 1990. 649p.
- LIRA, R. M. DE; GORDIN, L. C.; SILVA, Ê. F. D. F. E.; SILVA, G. F. D.; DANTAS, D. D. C.; MORAIS, J. E. D. Leaching of cations in soil cultivated with sugarcane subjected to saline irrigation and leaching fractions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 9, p. 616–621, 2018.
- MAAS, E. V.; HOFFMAN, G. J. Crop Salt Tolerance: Current Assessment. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, v. 103, n. 2, p. 115–134, 1977.
- MEDEIROS, J. F. de; NASCIMENTO, I. B. do; GHEYI, H. R. Manejo do solo-água-planta em áreas afetadas por sais. In: In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; FILHO, E. G. (org.). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. 2. ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. p.319–335.
- MORAIS, J. E. F.; SILVA, Ê.F.D.F.; NETO, A.H.G.; de CARVALHO LIMA, B.L.; de LIRA, R.M.; da COSTA BERTO, S.D.; JARDIM, A.M.D.R.F.; NETO, D.E.S.; da SILVA, T.G.F.; ROLIM, M.M. Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) under saline stress: Growth, productivity, technological quality, and industrial yield. **Industrial Crops and Products**, v. 188, p. 115642, 2022.
- R CORE TEAM. **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing. 2020.
- RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: USDA, 1954. 60 p. Handbook, 60.
- SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. SANTOS, H. G. dos. **Sistema Brasileiro de Classificação de solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018. 355p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed Editora, 2017. 858p.

TEIXEIRA, P. C; DONAGEMMA, G.K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 573 p.

WANDERLEY, L. R. dos S.; de OLIVEIRA, E.C.A.; FREIRE, F.J.; SIMOES NETO, D.E.; dos SANTOS, R.L. Nutritional Requirement by Irrigated Brazilian Sugarcane Varieties. **Sugar Tech**, v. 23, n. 4, p. 762–775, 2021.

ZHANG, C.; LI, X.; KANG, Y.; WANG, X. Salt leaching and response of *Dianthus chinensis* L. to saline water drip irrigation in two coastal saline soils. **Agricultural Water Management**, v.218, p.8-16, 2019.