

FERTIRRIGAÇÃO COM SILÍCIO REDUZ OS ESTRESSES OCASIONADOS POR DÉFICIT HÍDRICO EM CANA-DE-AÇÚCAR

LUIZ FABIANO PALARETTI¹, HEITOR MASCHIETTO ROSSETTI², MARCILENE MACHADO DOS SANTOS SARAH³, RENATO DE MELLO PRADO⁴ e FABIO OLIVIERI DE NOBILE⁵

¹Dr. Professor Associado, UNESP/FCAV, Jaboticabal-SP, luiz.f.palaretti@gmail.com;

²Discente do curso de Engenharia Agrônômica, UNESP/FCAV, heitor.rossetti@hotmail.com;

³Dr. em Agronomia - Ciência do Solo, UNESP/FCAV, marcilene.m.sarah@gmail.com

⁴Dr. Professor Associado, UNESP/FCAV, Jaboticabal-SP, rm.prado@unesp.br;

⁵Dr. Professor do Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos – UNIFEB, fabio.nobile@unifeb.edu.br

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
06 a 09 de outubro de 2025

RESUMO: O objetivo neste trabalho foi avaliar os efeitos do Si aplicado via fertirrigação em plantas de cana-de-açúcar cultivadas em campo. A partir disto, o experimento foi realizado em faixas (Slip-block), com os seguintes tratamentos: duas condições de Si: ausência (0 mm L^{-1}) e presença ($1,8 \text{ mmol L}^{-1}$) de Si; e três regimes hídricos, considerando a capacidade de retenção de água no solo (CRA): RH70%; RH35% e RH10%. Foram realizadas análises tecnológicas como ATR, POL, PC, fibra, pureza e °Brix e biométricas. O efeito do silício mostrou-se positivo para a cultura da cana-de-açúcar resultando incremento de 4 mm no diâmetro de colmos, 4 perfilhos por metro, e 0,6 metros de altura e consequentemente um aumento de $71,2 \text{ t ha}^{-1}$ de produtividade, sendo uma estratégia na redução do estresse ocasionado pelo déficit hídrico na cultura.

PALAVRAS CHAVE: produtividade, gotejamento subsuperficial, fertirrigação silicatada.

FERTIRRIGATION WITH SILICON IN THE MITIGATION OF WATER STRESS IN SUGARCANE

ABSTRACT: The objective of this work was to evaluate the effects of Si applied via fertigation on sugarcane plants grown in the field. The experiment was conducted in strips (Slip-block), with the following treatments: two conditions of Si: absence (0 mm L^{-1}) and presence (1.8 mmol L^{-1}) of Si; and three water retention capacities (WCR): RH70%; RH35% and RH10%. Technological analyses such as ATR, POL, PC, fiber, purity and °Brix and biometric analyses were performed. The effect of silicon was positive for the sugarcane crop resulting in an increase of 4 mm in cane diameter, 4 tillers per meter, and 0.6 meters in height and consequently an increase of 71.2 t ha^{-1} in yield, as a strategy to reduce stress caused by water deficit in the crop.

KEYWORDS: yield, subsurface drip irrigation, silicate fertigation

INTRODUÇÃO

O alto rendimento da cana-de-açúcar está diretamente ligado a disponibilidade hídrica, por ter em sua massa fresca 71% de água (Dalri et al., 2008). O consumo anual de água pela cultura varia de 1500 a 2500 mm, dependendo da região, do clima, das variedades e da classe de solo.

O estresse hídrico limita a produtividade uma vez que reduz a área foliar e a intensidade dos danos pode variar de acordo com o potencial genético de cada cultivar. Neste contexto, o fornecimento de água via irrigação pode assegurar os índices de produtividade e melhorar a qualidade do produto sem depender exclusivamente da precipitação (Dalri et al., 2008).

No mesmo sentido, o uso de silício (Si) pode reduzir os efeitos deletérios provocados pela deficiência hídrica, uma vez absorvido na forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4) pelas raízes (Epstein, 1999). Atribui-se o efeito mitigador do Si ao aumento do conteúdo de água nas folhas (Teixeira et al., 2020) e na capacidade fotossintética da planta (Camargo et al., 2017), resultando em maior produção de colos e acúmulo de açúcar, além da redução nos danos causados por doenças e insetos.

A partir disso, a hipótese desse trabalho é que o Si pode melhorar o desempenho de plantas de cana-de-açúcar cultivadas em diferentes níveis de água no solo, mitigando os estresses por déficit hídrico. Para isso, objetivou-se avaliar se o fornecimento de Si via fertirrigação em sistema de gotejamento subsuperficial ao longo do cultivo da cultura pode ser usado como estratégia a redução do déficit hídrico em cana-de-açúcar.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Universidade Estadual Paulista, Campus de Jaboticabal – SP num Latossolo Vermelho eutrófico de textura argilosa (Santos et al., 2018). O preparo do solo da área foi realizado por gradagem seguida de sulcagem com 40 cm de profundidade e a análise de solo identificou os seguintes parâmetros de fertilidade: (i) 0-20 cm – pH=6,1; M.O=22 mg dm⁻³; P=87 mg dm⁻³; S=6 mmol_c dm⁻³; Ca=39 mmol_c dm⁻³; Mg=16 mmol_c dm⁻³; K=3,7 mmol_c dm⁻³; CTC = 80 mmol_c dm⁻³; V%= 73 e Si= 11 mg kg⁻¹; (ii) 20-40 cm – pH=6,4; M.O=17 mg dm⁻³; P=31 mg dm⁻³; S=7 mmol_c dm⁻³; Ca=36 mmol_c dm⁻³; Mg=15 mmol_c dm⁻³; K=3,6 mmol_c dm⁻³; CTC = 73 mmol_c dm⁻³; V%= 75 e Si= 9 mg kg⁻¹. Os parâmetros físico-hídricos na camada de 0-40 cm foram: argila=60,3%; silte=25%; areia total=14,7%; umidade volumétrica=46,24%; umidade volumétrica=54,56% e densidade aparente=1,18 gcm⁻³.

Foram transplantadas mudas pré-brotadas (MPB) de cana-de-açúcar (RB 96-6928) em junho do ano de 2020 com 1,5 m entre as linhas de plantio e 0,65 m entre as plantas na linha.

O experimento foi instalado em faixas (Slip-block) com os seguintes tratamentos: duas condições de Si: 0 mm L⁻¹ (-Si) e 1,8 mmol L⁻¹ (+Si); e três regimes hídricos, considerando a capacidade de retenção de água no solo (CRA): RH70% (sem restrição hídrica); RH35% e RH10%. Cada bloco foi composto por 8 plantas, considerando as duas plantas da extremidade como bordadura e úteis as quatro plantas centrais da parcela. No sulco de plantio foi aplicado 67 kg ha⁻¹ de ureia; 134 kg ha⁻¹ de KCL e 244 kg ha⁻¹ de superfosfato triplo. Aos 15 dias após o transplantio (DAT) foi aplicado 5 kg ha⁻¹ de zinco (sulfato de zinco) e 2 kg ha⁻¹ de boro (ácido bórico) via fertirrigação. A adubação de cobertura foi realizada aos 90 DAT, via fertirrigação com 100 kg ha⁻¹ de ureia e 67 kg ha⁻¹ de KCL.

O experimento foi irrigado por tubo gotejador enterrado autocompensante, com emissores espaçados de 0,5 m, vazão nominal de 1 L m⁻¹ h⁻¹ e pressão de trabalho de 1,5 kgf cm⁻². O Si foi aplicado via fertirrigação aos 98 e 140 DAT (perfilhamento) e aos 175, 228 e 253 DAT (crescimento de colmos), na forma de silicato de sódio neutro (SNaN) com solução mantida a pH entre 5,5 e 6,5.

A média da temperatura máxima observada durante o experimento foi de 28,26 °C, mantendo-se dentro do ideal para a cultura.

O cálculo da evapotranspiração de cultura (ET_c) foi feito pelo produto da evapotranspiração de referência (ET_o) pelo método de Penman-Monteith e com o coeficiente de cultivo (K_c), considerando: K_c inicial (0-60 DAT)=0,23; 0,40; 0,50; K_c perfilhamento (61 a 180 DAT)= 0,60; 0,80; 1,03; K_c crescimento de colmos (181 a 280 DAT)=1,03 e K_c maturação dos colmos (281 a 335 DAT)= 1,03 - 0,75 (Allen et al., 1998). A irrigação era realizada quando o déficit se acumulava em 20 mm.

A precipitação verificada entre 22/06/2020 e 23/06/2021, correspondendo ao período experimental foi de 807,5 mm e as irrigações contabilizaram 447,8 mm em RH10%; 542 mm em RH35% e 765,7 em RH70% da CRA. A ET_c máxima foi de 7,7 mm dia⁻¹ aos 161 DAT, em 31/11/2020 e a média foi de 3,7 mm dia⁻¹.

Aos 366 DAT, na ocasião da colheita, foram avaliados: altura de plantas; número de colmos; número de entrenós por colmo e a produtividade. Para as análises tecnológicas foram retirados oito colmos de cada tratamento por bloco e determinado: açúcares totais recuperáveis (ATR) em kg Mg⁻¹, quantidade de sacarose no caldo (POL) em %, quantidade de sacarose do colmo (PC), teor de fibra (%), pureza (%), e sólidos solúveis totais (°Brix). Foram coletados colmos e folhas de três plantas aleatoriamente dentro do bloco. Após secagem e trituração o teor de Si foi em espectrofotômetro a 410 nm. As análises estatísticas foram submetidas ao teste de Tukey à 5% de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados abaixo referem-se as características avaliadas em plantas de cana-de-açúcar cultivadas na ausência (-Si) e presença de silício (+Si) fornecido via fertirrigação sob regime hídrico de 10%, 35% e 70% da CRA do solo. Os “***” e “*” indicam significância estatística nos níveis de 1 e 5% de probabilidade, e “ns”, não significativo pelo teste F. As letras minúsculas mostram diferenças em relação ao Si e letras maiúsculas em relação aos regimes hídricos adotados.

Figura 1. Teor de silício na folha e colmo de plantas de cana-de-açúcar cultivadas na ausência (-Si) e presença de silício (+Si) fornecido via fertirrigação sob regime hídrico de 10%, 35% e 70% da CRA do solo.

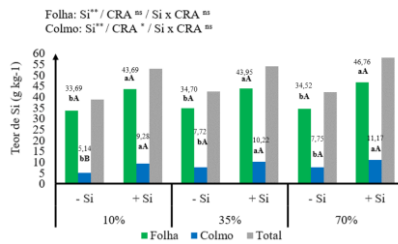


Figura 2. Açúcar total recuperável (ATR) (A); Pol do caldo (B), Pol da cana-de-açúcar (PC) (C), Fibra (D), Pureza (E) e Brix (F) de plantas de cana-de-açúcar.

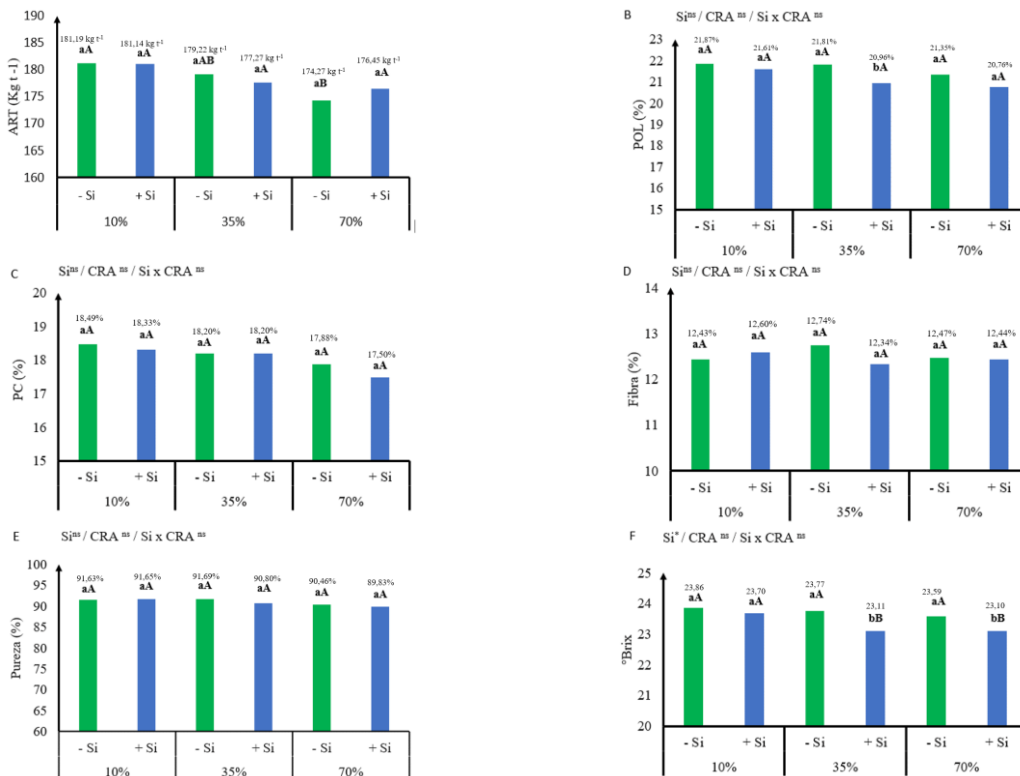
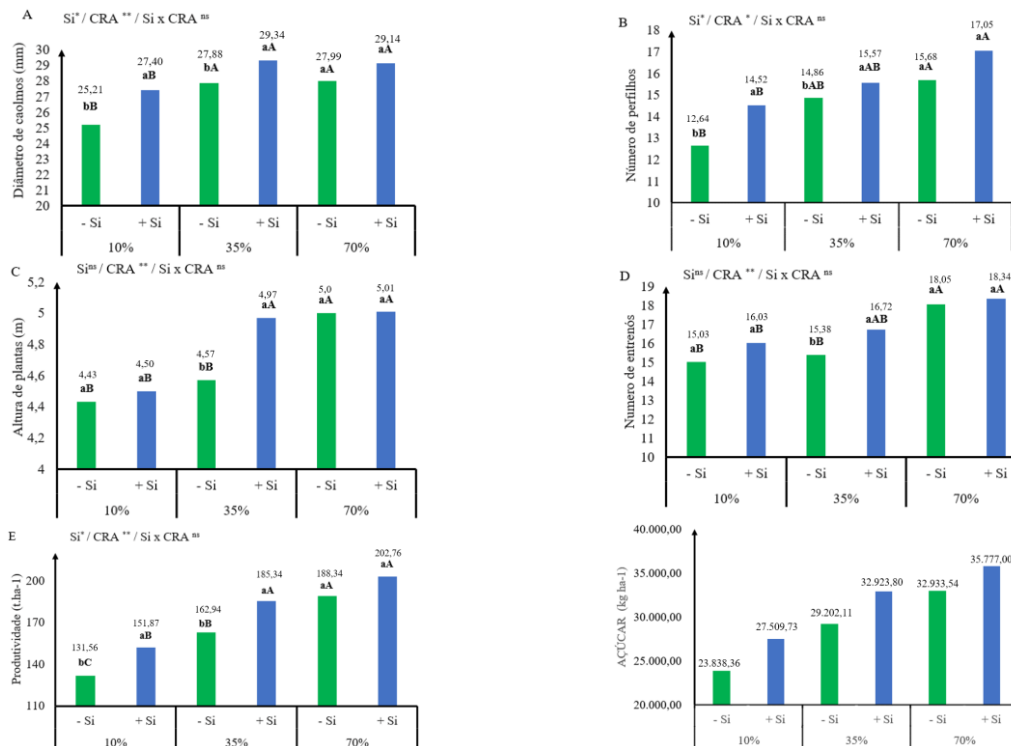


Figura 3. Diâmetro do colmo (A), número de perfilhos (B), altura de plantas (C), número de entrenós (D), produtividade (E) e produção de açúcar (F) de plantas de cana-de-açúcar cultivadas na ausência (-Si) e presença de silício (+Si) fornecido via fertirrigação sob regime hídrico de 10%, 35% e 70% da CRA do solo.



A maior concentração de Si foi observada em plantas que receberam o elemento, já que sua concentração no solo era menor que 10 a 20 mg kg⁻¹ de Si, considerado limitante para a cana-de-açúcar.

A suplementação de Si elevou os níveis de disponibilidade, que somada a capacidade da cana-de-açúcar em acumular o elemento (transporte eficiente) resultou no aumento da massa seca da parte aérea no RH70%, favorecendo o depósito de Si nas folhas. Isso ocorreu devido ao Si ser depositado na forma de dupla camada de sílica na cutícula da epiderme das folhas e colmos, tornando-se imóvel quanto à redistribuição para outros órgãos, sendo em maior quantidade nas folhas (Ma et al., 2006).

O fornecimento de Si em plantas, estimula um aumento no status hídrico foliar das culturas, por aumentar a força motriz osmótica, melhorar a atividade das aquaporinas, modificar o crescimento da raiz e aumentar a razão raiz/parte aérea. Neste sentido, o teor de sólidos solúveis neste trabalho, no qual os rendimentos foram menores em RH70% e os melhores resultados em RH10% pode ser explicado pela melhora no volume de água disponível e pelo aumento no teor de Si que ocasionou a diluição dos açúcares neste estudo. Scarpari e Beauclair (2008), citam que em locais com maior disponibilidade hídrica ocorreu a maior diluição nos colmos e conseqüentemente no caldo. Resultados esses que concordam com De Oliveira et al., (2019), que salientam que quanto maior a lâmina de irrigação, menor a concentração de açúcares e, conseqüentemente, menores teores de °Brix.

Os resultados da diminuição da concentração de açúcares são amplamente discutidos, como verificado em estudos realizados por Dalri et al., (2008), tornado o fator da presença do silício o único elemento apresentando diferenças significativas. Sendo esses resultados confirmados por Camargo et al. (2017), cujos efeitos positivos nos colmos e biomassa seca são devido ao aumento da absorção do Si em sistemas com déficit hídrico, tendo assim valores menores em plantas que receberam o tratamento.

O déficit hídrico reduziu o diâmetro de colmo em 13,48%, assim como verificado por Camargo et al. (2017), no entanto, os autores revelam que o fornecimento de Si atenuou o estresse.

O déficit hídrico também reduziu o perfilhamento, corroborando os resultados de Oliveira et al. (2011), comprovando a importância da água para a obtenção de altas produtividades. Para Fischer (2018), a restrição hídrica reduz o alongamento celular do colmo, comprimento do entrenó e a altura da planta. Neste estudo, o +Si atenuou o déficit hídrico e a cultura se desenvolveu satisfatoriamente no RH10%. O diâmetro de colmos, perfilhamento e altura têm importância para a definição do potencial produtivo da cana-de-açúcar (Silva et al. 2008). Sendo assim, a irrigação se mostrou efetiva para elevar a produtividade de cana-de-açúcar (Camargo et al., 2017).

CONCLUSÃO

A concentração de 1,8 mmol L⁻¹ de Si não influenciou os parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar, com excessão do °Brix que aumentou com o fornecimento Si e água. As plantas irrigadas (RH70%) foram positivamente afetadas quando comparadas com as do RH10% +Si. O incremento de produtividade foi de 71,2 t ha⁻¹ quando o RH70% +Si foi adotado em relação ao RH10% -Si, evidenciando o potencial da fertirrigação silicatada em cana-de-açúcar.

AGRADECIMENTOS

Ao grupo de Pesquisa em Irrigação e Meio Ambiente - GPIMA.

REFERÊNCIAS

- Allen, G., L.S. Pereira, D. Raes, & M. Smyh. Evapotranspiração das culturas - Diretrizes para calcular as necessidades de água das culturas - FAO Documento de irrigação e drenagem 56. Fao, Roma, v. 300, n. 9, pág. D05109, 1998.
- Camargo, M. S.; Bezerra, B. K. L.; Vitti, A.C.; Silva, M. A.; Oliveira, A. L. Silicon fertilization reduces the deleterious effects of water deficit in sugarcane. *Journal of soil Science and Plant Nutrition*, v.17, p.99-111, 2017.
- Dalri, A. B.; Cruz, R. L. Produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com N e K via gotejamento subsuperficial. *Engenharia Agrícola*, v. 28, n. 3, p. 516-524, 2008.
- De Oliveira, A. R., Braga, M. B. Variedades de cana-de-açúcar submetidas a diferentes lâminas de reposição hídrica por gotejamento subsuperficial. *Energia na Agricultura*, v. 34, n. 3, p. 350-363, 2019.
- Epstein, E. Silicon. *Annual review of plant biology*, Palo Alto, v. 50, p. 641-664,1999.
- Fischer Filho, J. A. Resposta de cultivares de cana-de-açúcar a lâminas de irrigação via gotejamento subsuperficial, 2018.
- Ma, J. F.; Yamaji, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Trends in Plant Science*, Kidlington, v. 11, n. 8, p. 392-397, 2006.
- Oliveira, E. C. A.; Feire, F. J.; Oliveira, A. C. de; Neto, D. E. S.; Rocha, AL. T. de; Carvalho, L. A. de. Produtividade, eficiência de uso da água e qualidade tecnológica 31 de cana-de-açúcar submetida a diferentes regimes hídricos. *Pesquisa agropecuária brasileira*, v. 46, n. 6, p. 617-625, 2011.
- Scarpari, M. S.; Beauclair, E. G. F. Variação espaço-temporal do índice de área foliar e brix em cana-de-açúcar. *Bragantia*, Campinas, v.67, n.1, p.35-41,2008.
- Silva, M. A., Soares, R.A.B., Landell, M.G.D.A., & Campana, M.P. Agronomic performance of sugarcane families in response to water stress. *Bragantia* [online]. v. 67, n. 3, 2008.
- Takahashi, C.; Takahashi, J.; Notomi, M.; Yokohama, I. *Microphotonics: Materials, Physics and Applications*, MRS Symposia Proceedings No. 637. 2001.
- Teixeira, G. C. M.; Rocha, A. M. S.; Oliveira, K. S.; Sarah, M. M. S.; Oliveira Filho, A. S. B.; Prado, R. M.; Palaretti, L. F. Silício na mitigação dos estresses por deficiência de manganês e pelo déficit hídrico em mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar (Revisão Bibliográfica). *Revista de Ciências Agrária*, v.48, n.2, p.170-187, 2020.