

COMPOSIÇÃO MINERAL DO TECIDO FOLIAR DA CANA-DE-AÇÚCAR SOB INUNDAÇÃO E POSTERIOR REBAIXAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO¹

C. S. Tavares², S. N. Duarte³, N. da S. Dias⁴, J. H. de Miranda⁵, C. dos S. Fernandes⁶

RESUMO: Condições temporárias ou permanentes de alagamento ou encharcamento do solo são problemas que podem trazer sérios prejuízos para o desenvolvimento das culturas. O objetivo deste estudo foi investigar a resposta de diferentes velocidades de rebaixamento do nível freático sob a composição mineral do tecido foliar da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L., cv. RB867515) para diferentes estádios de desenvolvimento da planta. Um experimento em ambiente protegido foi conduzido em delineamento de blocos casualizados, arranjado em esquema fatorial $(5 \times 3 + 1) \times 4$, quais sejam, 5 velocidades de rebaixamento do nível freático (30 cm em 3, 6, 9, 12 e 15 dias) e 3 estádios de desenvolvimento (67, 210 e 305 dias após o plantio - DAP) + um tratamento controle (irrigação sem inundação do solo) com 4 repetições. A análise dos resultados indica que as velocidades de rebaixamentos do nível freático nos diferentes estádios de desenvolvimento não interferiu no acúmulo dos teores de macro e micronutrientes nas folhas das plantas de cana-de-açúcar enquanto que os períodos nos quais houve estresse pelo encharcamento interferiu nos teores dos macronutrientes cálcio e magnésio e dos micronutrientes manganês e zinco.

PALAVRAS-CHAVE: drenagem, encharcamento, nível freático.

MINERAL COMPOSITION OF SUGARCANE FOLIAR TISSUE UNDER FLOODING AND POSTERIOR DOWNGRADE RATE OF WATER TABLE

ABSTRACT: Temporary or permanent conditions of flooding or waterlogging of the soil are problems that can cause serious damages to the development of the crops. The objective of this study was to investigate the response of different downgrade rate of water table under the mineral composition of the sugarcane foliar tissue (*Saccharum officinarum* L., cv. RB867515) for different stages of plant development. A greenhouse experiment was conducted in a

¹ Parte da tese do primeiro autor.

² Professor, IFNMG, Almanera - Minas Gerais.

³ Professor, ESALQ/USP, Piracicaba - São Paulo.

⁴ Professor, UFERSA, Mossoró - Rio Grande do Norte.

⁵ Professor, ESALQ/USP, Piracicaba - São Paulo.

⁶ Graduando em Agronomia, UFERSA, CEP 59625-900, Mossoró - Rio Grande do Norte. Email: cleyton1959@hotmail.com.

randomized blocks design, arranged in factorial scheme $(5 \times 3 + 1) \times 4$, which are, 5 demotion velocities of the water table (30 cm in 3, 6, 9, 12 and 15 days) and, 3 plant growth stages (67, 210 and 305 days after planting - DAP) + a control (irrigation without waterlogging) with 4 replications. The analyzes of the results indicate that the velocities downgrade rate of water table in the different stages of development did not interfere in the accumulation of macro and micronutrient contents in the leaves of the sugarcane plants while in the periods in which there was waterlogging stress interfered in the contents of the macronutrients calcium and magnesium and of the micronutrients manganese and zinc.

KEYWORDS: drainage, waterlogging, water table.

INTRODUÇÃO

No território nacional existem expressivas áreas aptas ao cultivo da cana-de-açúcar, mas com problemas relacionados à deficiência natural de drenagem, dentre as quais se destacam as áreas de várzeas, próxima à meia encosta, sujeitas à interferência temporária do lençol freático, situadas em topografia desfavorável, sujeitas à acúmulo temporário de água de escoamento superficial e, ainda, as áreas de solo com estrutura física degradada pelo acúmulo de sódio, manejo excessivo e/ou com problemas naturais de infiltração.

Solos com problemas de excesso de umidade, em condições temporárias ou permanentes de alagamento (formação de lâmina de água na superfície) e encharcamento (saturação hídrica) causam déficit na disponibilidade de oxigênio e, conseqüentemente, desequilíbrio nutricional e perdas de crescimento e produção na maioria dos genótipos da cana-de-açúcar (Hasan et al., 2003). Os efeitos do excesso de água no solo é, na maioria dos casos, sentido diretamente pelas raízes e indiretamente pela parte aérea das plantas, sendo a eficiência dos mecanismos de adaptação das espécies e dos genótipos que determina a tolerância da planta à deficiência de oxigênio (Yin et al., 2009; Malik & Tomer, 2003; Islam et al, 2011).

Estes problemas podem ser corrigidos de forma economicamente viável, garantindo, concomitantemente, que os impactos decorrentes da nova forma de exploração sejam minimizados. Assim, torna-se importante conhecer os mecanismos fisiológicos dos genótipos ao excesso de umidade no solo sobre a cana-de-açúcar, uma vez que este estado do solo ocorre na maioria das áreas cultivadas, em períodos variando de curtos a permanentes. Estas áreas podem ser consideradas potencialmente produtivas desde que se conheçam as limitações da cultura explorada quando submetida a alagamento e encharcamento.

Tavares et al. (2015) demonstraram que a sensibilidade da cana-de-açúcar ao excesso de umidade do solo depende da velocidade de rebaixamento do nível freático e do estágio fenológico em que o encharcamento ocorre. Dessa forma, é necessário se identificar o estágio mais restritivo e a velocidade média mínima de rebaixamento do lençol capaz de não comprometer a produtividade da cultura.

Acreditando que o teor de umidade do solo influencia no acúmulo de nutrientes nas folhas da cana-de-açúcar, esse trabalho teve como objetivo investigar a resposta de diferentes velocidades de rebaixamento do nível freático sob a composição mineral do tecido foliar da cana-de-açúcar para diferentes estádios de desenvolvimento da planta.

MATERIAL E MÉTODOS

Local do experimento

O experimento foi conduzido em ambiente protegido na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), no município de Piracicaba - SP (22°42’ de latitude sul e 47°38’ de longitude oeste e altitude de 540 m).

Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados, arranjado em esquema fatorial $(5 \times 3 + 1) \times 4$, quais sejam, 5 velocidades de rebaixamento do nível freático (30 cm em 3, 6, 9, 12 e 15 dias - V₁, V₂, V₃, V₄ e V₅) em 3 estádios de desenvolvimento da cultura (P₁ = 67, P₂ = 210 e P₃ = 305 dias após o plantio - DAP) + um tratamento controle (T = irrigação sem inundação do solo) com 4 repetições. Obtiveram-se, assim, as seguintes combinações: T, P₁V₁, P₁V₂, P₁V₃, P₁V₄, P₁V₅, P₂V₁, P₂V₂, P₂V₃, P₂V₄, P₂V₅, P₃V₁, P₃V₂, P₃V₃, P₃V₄ e P₃V₅, totalizando 16 tratamentos.

Cultivo da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (cultivar RB867515) foi crescida em lisímetros de 1,2 m de altura e 0,5 m de diâmetro preenchidos com solo. A área plantada e volume útil de cada lisímetro era de 0,20 m² e 240 L, respectivamente. O fornecimento hídrico para as plantas ocorreu individualmente por cada parcela experimental onde a parte inferior dos lisímetros era interligada a um reservatório de PCV dotado de uma boia para controle da profundidade do nível freático (NF) (Figura 1).

Caracterização do solo

O solo utilizado no preenchimento dos lisímetros foi coletado em um perfil de um Latossolo Vermelho Amarelo, textura franco-arenosa, denominado Série Sertãozinho, retirado

da camada de 0-0,50 m. A amostra deformada do solo foi coletada para caracterização físico-química (Tabela 1).

Calagem e adubação

Aplicou-se 2 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico (40 g por lisímetro) homogeneizado em camadas de 0,50 m durante o preenchimento dos lisímetros com o solo. Na adubação química utilizou-se uma dosagem de 67 kg de N, 180 kg de P₂O₅ e 225 kg de K₂O (10, 20 e 10 g por lisímetro, respectivamente) por hectare. A adubação nitrogenada e potássica foi parcelada em 3 vezes tendo sido realizada aos 40, 110 e 220 DAP utilizando o nitrato de potássio (45% de K₂O e 13% de N) enquanto que o fósforo foi aplicado toda a dosagem por ocasião do plantio utilizando o fertilizante superfosfato simples. Aos 150 DAP 5 kg de matéria orgânica foi incorporado em cada parcela.

Manejo da irrigação

A cana-de-açúcar foi irrigada durante todo o ciclo via sistema de sub-irrigação, exceto no período de aplicação da lâmina de inundação para garantir que as diferenças obtidas fossem proporcionadas apenas pelo estresse por excesso de umidade (hipoxia). Após a aplicação dos tratamentos (lâminas de inundação), rebaixava-se o NF até a 0,80 m da superfície do solo e a irrigação destas plantas recomeçava no momento em que a leitura dos tensiômetros, instalados a 0,30 m de profundidade nos lisímetros, atingia 50 kPa.

Análise das folhas +3 da cana-de-açúcar e análise estatística

Aos 315 dias após o plantio foram realizadas amostragens das folhas das 64 parcelas, sendo coletada a folha +3 de todas as plantas da área útil. As amostras (incluindo a nervura) foram analisadas para determinação das concentrações de macronutrientes e micronutrientes.

Para a análise dos dados foi feita inicialmente uma análise de variância. Tendo em vista que os fatores empregados foram quantitativos e qualitativos, realizou-se o teste F, conjuntamente com os testes de Tukey e Dunnett, em nível de 5% de probabilidade. O teste de Tukey comparou a média entre os tratamentos que sofreram inundação entre si. Já o teste de Dunnett foi utilizado para comparar cada tratamento que sofreu inundação com o tratamento testemunha (irrigação sem inundação).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com exceção do nutriente magnésio ao qual foi observado diferenças estatísticas (p<0,05), os teores de macronutrientes nas folhas da cana de açúcar aos 315 dias após o plantio para os diferentes tratamentos não diferiram entre si. Já quando se avaliou os teores de

macronutrientes dentro dos períodos nos quais houve estresse pelo encharcamento de suas parcelas observou-se que para os nutrientes cálcio e magnésio foi detectado diferenças estatísticas ($p < 0,05$). Para as demais causas de variação (velocidade do rebaixamento do NF e a interação velocidade*períodos) não foi detectado diferenças estatísticas.

Os teores médios de magnésio nas folhas da cana-de-açúcar em análise feita aos 315 dias após o plantio podem ser visualizados na Figura 2. Entre os tratamentos que sofreram o estresse por encharcamento do solo apenas os tratamentos P1V4 e P2V1 diferenciaram-se entre si. As parcelas que foram conduzidas como testemunhas apresentaram um teor médio do nutriente magnésio nas folhas diferenciando-se da maioria dos tratamentos que foram submetidos a inundação, com exceção do tratamento P1V4.

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.**3 mostra os teores médios de cálcio nas folhas da cana-de-açúcar aos 315 DAP submetidas a diferentes tratamentos em períodos distintos do seu ciclo. As parcelas irrigadas (T) apresentaram valores médios para o teor de cálcio nas suas folhas semelhantes aos teores do nutriente nas parcelas que sofreram o encharcamento nos períodos de 210 e 305 DAP, diferindo estatisticamente apenas dos teores obtidos nas parcelas que sofreram o encharcamento aos 67 DAP.

Os teores médios de magnésio nas folhas da cana-de-açúcar amostradas aos 315 DAP são apresentados na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**4. O teor do nutriente presente nas folhas das plantas submetidas ao encharcamento aos 210 DAP foi superior aos encontrados nos outros períodos que sofreram o estresse (67 e 305 DAP) como também do tratamento em que as plantas receberam irrigação (T).

Conforme a análise de variância para os micronutrientes nas folhas da cana-de-açúcar sobre inundação, apenas o nutriente manganês apresentou diferença significativa de seus teores nos tratamentos de acordo com o teste F. Entretanto, quando submetido os valores médios dos teores de manganês dos diferentes tratamentos ao teste Tukey a 5% de probabilidade não se comprovou essa significância.

A análise de variância para o acúmulo de micronutrientes nas folhas da cana-de-açúcar mostrou ainda que o manganês, juntamente com o zinco, diferiram estatisticamente ($p < 0,05$) quando se avaliaram os teores destes nos diferentes períodos de estresse submetido às plantas, enquanto que para as diferentes velocidades de rebaixamentos do nível freático não foi observado diferenças estatísticas para nenhum micronutriente. A interação velocidades*períodos se mostrou significativa ($p < 0,05$) para o nutriente manganês, provavelmente devido à significância dos períodos de estresse, já que para as velocidades de rebaixamentos os teores desse micronutriente não apresentaram significância.

Calheiros et al. (2000) em condições experimentais semelhante observaram que os teores de manganês, zinco, boro e cobre apresentaram uma resposta negativa nítida quanto à intensidade de encharcamento. Camargo et al. (1999) afirmam que o zinco decresce sua concentração após o alagamento. Os autores relacionam essa redução à precipitação do $Zn(OH)_2$ como resultado do aumento do pH, precipitação do $ZnCO_3$ devido à acumulação do CO_2 , resultado da decomposição da matéria orgânica e precipitação do Zn sob condições altamente reduzidas.

Em relação ao micronutriente manganês, quando as plantas foram submetidas à inundação nos três períodos (67, 210 e 305 DAP) ou quando estas receberam irrigação (T) observa-se que o teor médio do nutriente nas folhas das plantas de cana-de-açúcar que receberam irrigação (T) não diferenciou das plantas que sofreram o estresse do encharcamento. No entanto, na avaliação referente ao período que se iniciou aos 67 DAP o teor médio de manganês apresentou-se maior e diferindo estatisticamente entre os demais períodos de estresse (Figura 5).

Os teores do micronutriente zinco nas folhas da cana-de-açúcar submetidas aos diferentes períodos de estresse são apresentados na **Erro! Fonte de referência não encontrada.6**. Para o período de 305 DAP o teor de zinco nas folhas das plantas foi menor diferenciando-se estatisticamente dos demais períodos em que as plantas sofreram estresse, diferindo também em relação aos teores médios nas folhas das plantas que estiveram submetidas à irrigação (T).

Calheiros et al. (2000) encontraram uma tendência de decréscimo no acúmulo de micronutrientes nas folhas das plantas ao longo do tempo em plantas submetidas a hipoxia, no entanto, não encontraram responsividade com o encharcamento para o nutriente zinco.

O encharcamento do solo nos diferentes períodos, ao longo do ciclo cultural (67, 210 e 305 DAP), aplicando as diferentes velocidades de rebaixamento de 30 cm em 3, 6, 9, 12 e 15 dias e levando em consideração condições experimentais, tais como: ambiente protegido, confinamento do sistema radicular, altas temperaturas do solo, de maneira geral não interferiu no desenvolvimento da cultura.

Camargo et al. (1999) afirmam que em termos de nutrição de plantas, a hipoxia pode acarretar em efeitos benéficos proporcionados pelas alterações no sistema, tais como aumento na disponibilidade de fósforo, ferro e manganês e efeitos maléficis como a diminuição da disponibilidade de zinco, cobre, aumento excessivo de Fe^{2+} e formação de H_2S e ácidos orgânicos.

CONCLUSÕES

As velocidades de rebaixamentos do nível freático nos diferentes estádios de desenvolvimento não interferiu nos teores de macro e micronutrientes nas folhas das plantas de cana-de-açúcar.

Os períodos nos quais houve estresse pelo encharcamento interferiu no acúmulo dos teores dos macronutrientes cálcio e magnésio e dos micronutrientes manganês e zinco nas folhas das plantas de cana-de-açúcar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CALHEIROS, R.O. Efeito do manejo da água de drenagem na adaptação fisiomorfológica de plantas mesófitas ao encharcamento. Botucatu, 2000. 127p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrárias, UNESP.

CAMARGO, F.A.O.; SANTOS, G.A.; ZONTA, E. Alterações eletroquímicas em solos inundados. *Ciência Rural*, v.29, n.1, p.171-180, 1999.

HASAN, M.F.; ALAM, M.R.; JABBER, M.A.; BEGUM, M.K.; MIAH, M.A.S. Effects of water-logging on juice quality and yield of sugarcane. *Pakistan Journal of biological sciences*, v.6, n.13, p.1151-1155, 2003.

ISLAM, M.S.; MIAH, M.A.S.; BEGUM, M.K.; ALAM, M.R.; AREFIN, M.S. Growth, yield and juice quality of some selected sugarcane clones under water-logging stress condition. *World Journal of Agricultural Sciences*, v.7, n.4, p.504-509, 2011.

MALIK, S.S.; TOMER, B.S. Sugarcane varietal performance under high water-logging conditions. *Indian Sugar*, v.53, n.8, p.585-588, 2003.

TAVARES, A.C.S.; DUARTE, S.N.; MIRANDA, J.H.; DIAS, N.S.; SOUZA, K.T.S.; ARRAES, F.D.D. Velocidade de rebaixamento do nível freático na qualidade do caldo da cana-de-açúcar. *Irriga*, v.20, n.3, p.458-472, 2015.

YIN, D.; CHEN, S.; CHEN, F.; GUAN, Z.; FANG, W. Morphological and physiological responses of two chrysanthemum cultivars differing in their tolerance to waterlogging. *Environmental and Experimental Botany*, v.67, n.1, p.87-93, 2009.

Tabelas e figuras

Tabela 1. Análise granulométrica e química do solo utilizado no preenchimento dos lisímetros.

Areia (%)		Silte (%)				Argila (%)				Densidade de partículas (g dm ⁻³)			
78		4				18				2,86			
pH CaCl ₂	M.O g dm ⁻³	P mg dm ⁻³	S	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	T	V	M	
		-----mmolc. dm ⁻³ -----								%			
4,2	8	2	20	3,6	7	3	6	20	13,6	33,6	40	31	

Figura 1. Diagrama esquemático de uma unidade experimental composto por uma manilha de concreto simples conectada a um reservatório de PVC auxiliar com boia.

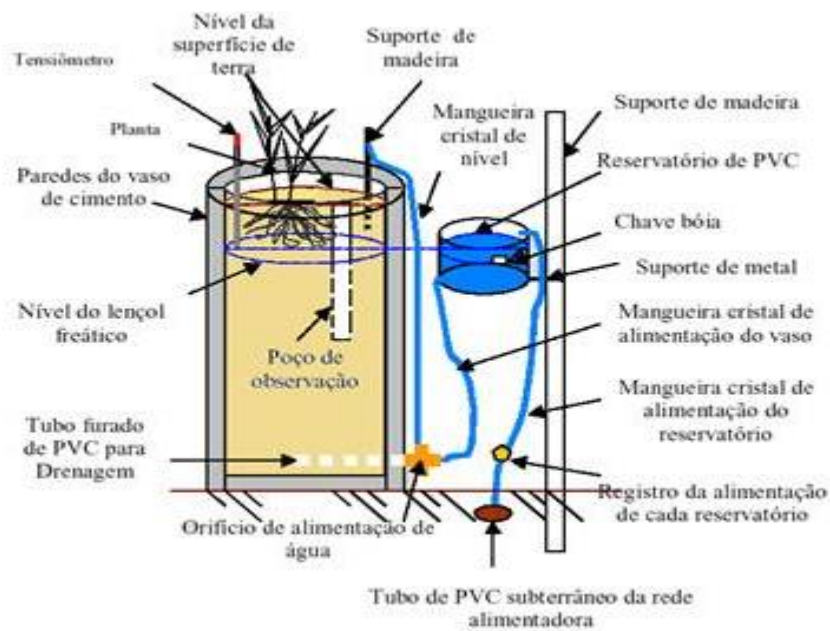


Figura 2. Teor médio de magnésio nas folhas da cana-de-açúcar para os diferentes tratamentos, sobre encharcamento e quando submetido somente à irrigação (T).

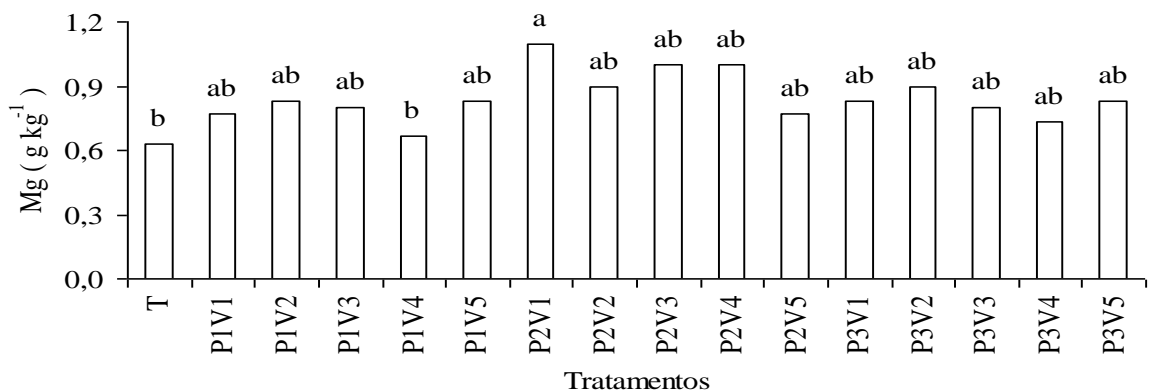


Figura 3. Teor médio de cálcio nas folhas da cana-de-açúcar para os diferentes períodos de encharcamento e quando submetido somente à irrigação (T).

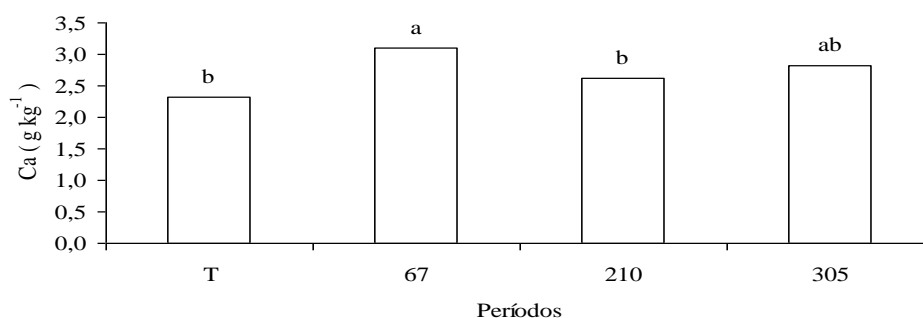


Figura 4. Teor médio de magnésio nas folhas da cana-de-açúcar para os diferentes períodos de encharcamento e quando submetido somente à irrigação (T).

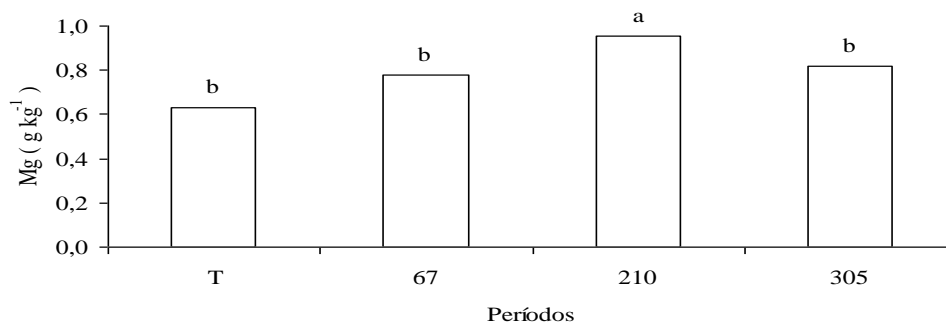


Figura 5. Teor médio de manganês nas folhas da cana-de-açúcar para os diferentes períodos de encharcamento e quando submetido somente à irrigação (T).

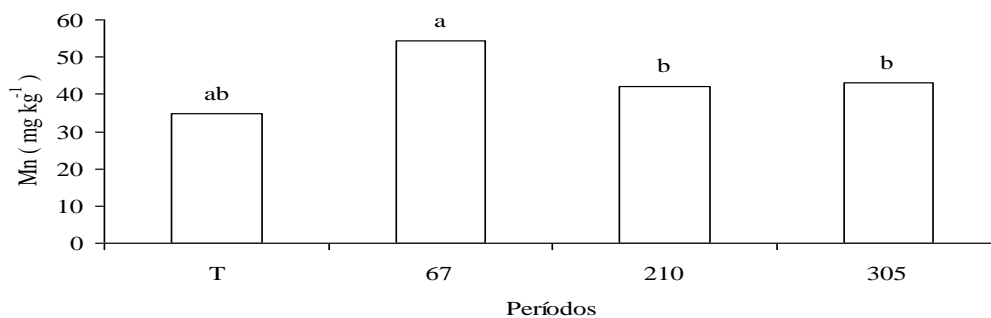


Figura 6. Teor médio de zinco nas folhas da cana-de-açúcar para os diferentes períodos de encharcamento e quando submetido somente à irrigação (T).

