

ESTADO NUTRICIONAL DA CANA-DE-AÇÚCAR FERTIRRIGADA COM DOSES DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS NO SEMIÁRIDO NORDESTINO

Cícero Luiz Câmara Júnior¹, Mateus Pessoa Caminha², Felipe Ferreira Coelho³, Rafael Oliveira Batista⁴, Stefeson Bezerra de Melo⁵, Luís César de Aquino Lemos Filho⁴

RESUMO: A escassez hídrica e o esgotamento sanitário deficitário estimulam o uso agrícola de águas residuárias tratadas no semiárido nordestino. Objetivou-se com o presente trabalho analisar os efeitos da aplicação de diluições de água residuária doméstica tratada (ART) em água de poço (AP) no estado nutricional da cana-de-açúcar em Apodi-RN, Brasil. O experimento foi realizado no Assentamento Milagres, em Apodi-RN, onde foi conduzido em blocos casualizados com cinco tratamentos (T1 – 100% ART; T2 – 75% ART + 25% AP; T3 – 50% ART + 50% AP; T4 – 25% ART + 75% AP a T5 – 100% AP) e cinco repetições. Analisaram-se os nutrientes N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn e Zn nas folhas das plantas. Os dados dos nutrientes no tecido vegetal foram submetidos à análise multivariada, empregando a matriz de correlação de Pearson e as análises de componentes principais, de agrupamento e fatorial. A fertirrigação com ART influenciou a absorção e o acúmulo de nutrientes na cana-de-açúcar. Os resultados indicaram que os teores de Fe e Mn estão dentro da faixa recomendada para a cultura conforme padrões da literatura juntamente com o Zn, com exceção de T2 que se mostrou superior a faixa recomendada. Dentre os tratamentos destaca-se T4 por acarretar maior armazenamento de N, P, Fe e Mn no tecido vegetal da cana-de-açúcar.

PALAVRAS-CHAVE: aproveitamento agrícola. esgoto. *saccharum officinarum*.

¹ Pós-doutor em Manejo de Solo e Água, UFERSA, Mossoró, RN.

² Mestrando em Manejo de Solo e Água, UFERSA, CEP 59625-900, Mossoró, RN. Fone (88) 9 9971-9974. e-mail: mateus.caminha@alunos.ufersa.edu.br.

³ Graduando em Agronomia, UFERSA, CEP 59.625-900, Mossoró, RN. Fone (85) 9 9169-9215. e-mail: felipe.coelho@alunos.ufersa.edu.br

⁴ Prof. Doutor, Centro de Engenharias, UFERSA, Mossoró, RN.

⁵ Prof. Doutor, Depto de Ciências Exatas e Tecnologia da Informação, UFERSA, Angicos, RN.

NUTRITIONAL STATUS OF SUGARCANE FERTIRRIGATED WITH DOSES OF WASTEWATER IN THE SEMI-ARID NORTHEASTERN REGION

ABSTRACT: Water scarcity and poor sewage systems encourage the agricultural use of treated wastewater in the semiarid region of the Northeast region. The aim of this study was to analyze the effects of diluting treated domestic wastewater (TWD) with well water (WW) on the nutritional status of sugarcane in Apodi, Rio Grande do Norte, Brazil. The experiment was carried out at the Milagres Settlement in Apodi, Rio Grande do Norte, in a randomized complete block design with five treatments (T1 – 100% TWD; T2 – 75% TWD + 25% WW; T3 – 50% TWD + 50% WW; T4 – 25% TWD + 75% WW to T5 – 100% WW) and five replicates. The nutrients N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, and Zn were analyzed in the leaves of the plants. Plant tissue nutrient data were subjected to multivariate analysis using Pearson's correlation matrix and principal component, cluster, and factor analyses. ART fertigation influenced nutrient uptake and accumulation in sugarcane. The results indicated that Fe and Mn levels are within the recommended range for the crop, according to literature standards, along with Zn, with the exception of T2, which was higher than the recommended range. Among the treatments, T4 stands out for resulting in greater storage of N, P, Fe, and Mn in the sugarcane plant tissue.

KEYWORDS: agricultural use. sewage. *saccharum officinarum*.

INTRODUÇÃO

A escassez hídrica no semiárido nordestino, caracterizada por longos períodos de estiagem que causam diversos efeitos, como perdas nas lavouras agrícolas, aumento do desemprego rural, redução na oferta de água às populações, e as migrações das áreas rurais para os centros urbanos (Zanella, 2014). O lançamento de águas residuárias domésticas sem tratamento nos corpos hídricos receptores provoca o processo de eutrofização, prejudicando assim o balanço adequado do oxigênio dissolvido (Matos; Matos, 2017). Por outro lado, águas residuárias tratadas representam alternativa viável para irrigação, mesmo durante os períodos de estiagem, promovendo reúso da água e dos nutrientes (Schaer-Barbosa et al., 2014). A análise multivariada se refere a todas as técnicas estatísticas que simultaneamente analisam múltiplas medidas sobre indivíduos ou objetos sob investigação; dessa forma, qualquer análise simultânea com mais de duas variáveis pode ser considerada, a princípio, como multivariada (Hair Júnior et al., 2009). Assim, objetivou-se com esse estudo avaliar o estado nutricional da

cana-de-açúcar fertirrigada com diluições de água residuária tratada, por meio de análise multivariada.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado com a cultura da cana-de-açúcar no Projeto de Assentamento Rural Milagres, situado na Chapada do Apodi no município de Apodi-RN, Brasil ($5^{\circ}35'22''$ S; $37^{\circ}54'12''$ W), conforme apresentado na Figura 1.

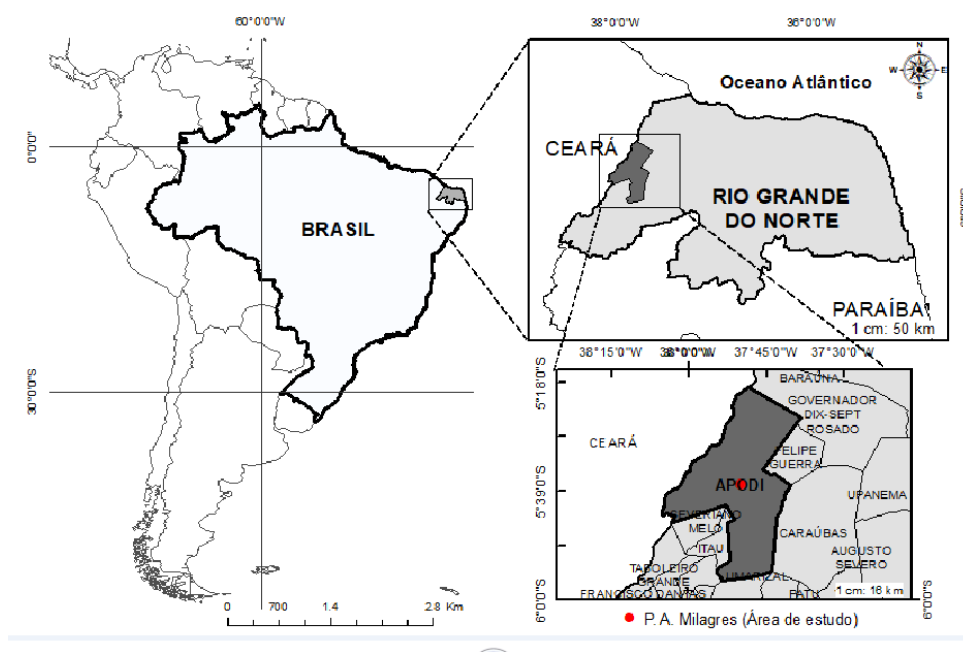


Figura 1. Mapa de localização do Projeto de Assentamento Rural Milagres.

O solo da área experimental foi classificado como Cambissolo TA Eutrófico Típico (Santos et al., 2018). A classificação de Köppen indica que o clima da região é do tipo As tendo precipitação pluvial média anual de 803 mm e temperatura média do ar de $26,1^{\circ}\text{C}$ (Alvares et al., 2013). O experimento foi montado para a cultura da cana-de-açúcar, utilizando o Delineamento em Blocos Casualizados com cinco tratamentos e cinco repetições, totalizando 25 parcelas. As proporções de água residuária tratada (ART) e água de poço (AP) foram: T1 (100% ART), T2 (75% ART e 25% AP), T3 (50% ART e 50% AP), T4 (25% ART e 75% AP) e T5 (100% AP - testemunha). A área experimental foi dividida em 25 parcelas irrigadas por gotejamento, com cana-de-açúcar no espaçamento de 1,0 m entre fileiras e 0,30 m entre plantas.

Ao longo do período experimental foram realizadas quatro amostragens de água residuária doméstica tratada (ART) e da água de poço (AP). As amostras foram preservadas em

caixa isotérmica com temperatura entre 4 e 6°C até a realização das análises químicas no Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (LASAP/UFERSA). Os procedimentos de amostragem, preservação e análise química das amostras seguiram as recomendações da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Embrapa (Silva, 2009) e do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Baird et al., 2017). As análises químicas compreenderam: nitrogênio (N) utilizando o método de Kjeldahl; fósforo total (P) determinado por espectrofotometria, potássio (K⁺) obtido por fotometria de chama; cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺) foram obtidos pelo método titulométrico; e ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) foram quantificados por espectrofotometria de absorção atômica. Apresentam-se, na Tabela 1, os valores médios dos atributos químicos da água residuária doméstica tratada e da água de poço utilizadas na irrigação da cana-de-açúcar.

Tabela 1. Valores médios de atributos químicos da água residuária doméstica tratada (ART) e da água de poço (AP) utilizadas na irrigação da cana-de-açúcar.

Atributos	ART	AP
N (mg L ⁻¹)	35,25	NR
P (mg L ⁻¹)	1,02	NR
K ⁺ (mmol _c L ⁻¹)	1,22	0,27
Ca ²⁺ (mmol _c L ⁻¹)	0,96	0,89
Mg ²⁺ (mmol _c L ⁻¹)	0,87	0,74
Fe (mg L ⁻¹)	0,42	0,21
Mn (mg L ⁻¹)	0,09	0,05
Zn (mg L ⁻¹)	0,097	0,13

Fonte: Adaptado de Dutra (2013).

Nota: NR – Não realizado.

As folhas da cana-de-açúcar foram coletadas aos 155 dias após o plantio, sendo as mesmas armazenadas em sacos de papel, devidamente identificados, conforme o número do bloco e tratamento.

Em seguida, as amostras seguiram para o LASAP/UFERSA, onde foi realizada a secagem em estufa de circulação forçada com temperatura de 65°C. As amostras permaneceram na estufa por 72 h, realizando-se medição da biomassa seca a cada 24 h, até atingir peso constante. Após a secagem das amostras de folha, efetuou-se a moagem do material vegetal em moinho tipo Wiley, equipado com peneira de 40 mesh, visando à obtenção de material de pequena granulometria e homogêneo (Prado, 2008).

Para a extração dos nutrientes do tecido vegetal (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn e Zn) utilizou-se a digestão empregando-se micro-ondas como fonte de calor e ácido nítrico na digestão da matéria seca. O método de digestão da matéria seca e de extração dos nutrientes do tecido vegetal escolhido foi à digestão empregando-se forno micro-ondas como fonte de calor e HNO₃

para digerir a matéria seca. Para aplicação dessa técnica de digestão com aquecimento por micro-ondas em tubos de teflon pressurizados, utilizou-se o Digestor MARS™ fabricado pela CEM Corporation (Ferreira, 2014).

Transferiu-se 0,5 g do material vegetal seco e triturado para tubo de teflon de 100 mL, acrescentou-se 5 mL de ácido nítrico (65% P.A). Em seguida, os tubos foram inseridos no cilindro de aço de segurança do equipamento; colocou-se o tubo no Digestor MARS™, sendo a temperatura mantida na faixa de 170 a 180 °C, pressão de 20 a 25 bar e potência de 600 a 1000 W por 20 minutos, manteve-se nesta temperatura por mais 15 minutos; após desligar o Digestor MARS™ e esfriar os extratos, adicionou-se água destilada até completar o volume de 25 mL (extrato 1); ressalta-se, também, a realização da prova em branco, adotando os mesmos procedimentos, excluindo-se apenas a colocação da matéria seca para digestão (Costa, 2019). Os métodos de análises dos nutrientes nos extratos provenientes da digestão foram realizados de acordo a metodologia da EMBRAPA (Silva, 2009).

Os dados de teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn e Zn foram submetidos à análise multivariada empregando-se matriz de correlação de Pearson, Análise de Componentes Principais (ACP), Análise de Agrupamento (AA) e Análise Fatorial (AF).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta a matriz de correlação dos dados de macro e micronutrientes no tecido vegetal da cultura da cana-de-açúcar. Nessa tabela, constata-se a alta correlação significativa entre os elementos ferro e fósforo. Todavia as menores correlações ficaram para os nutrientes nitrogênio e zinco, zinco e potássio e potássio e fósforo, ferro e zinco.

Tabela 2. Matriz de correlação linear simples de dados de macro e micronutrientes do tecido vegetal da cultura da cana-de-açúcar

	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn
N	1,00							
P	0,49	1,00						
K	0,45	-0,05	1,00					
Ca	-0,16	-0,40	0,32	1,00				
Mg	0,04	0,27	0,33	0,76	1,00			
Fe	0,33	0,90	-0,45	-0,42	0,13	1,00		
Mn	0,72	0,63	-0,19	-0,71	-0,42	0,69	1,00	
Zn	0,07	-0,27	0,02	0,85	0,60	-0,12	-0,32	1,00

Nota: Números em vermelho, são valores significativos no nível de significância à 0,05 (teste bicaudal).

Na Figura 2 está apresentada a distribuição de variáveis, no círculo de correlações representando a relação entre os componentes principais 1 e 2 do tecido vegetal da cultura da cana-de-açúcar, enquanto a Figura 3 mostra a distribuição dos tratamentos no plano representando a relação entre os componentes principais 1 e 2 do tecido vegetal da cultura da cana-de-açúcar.

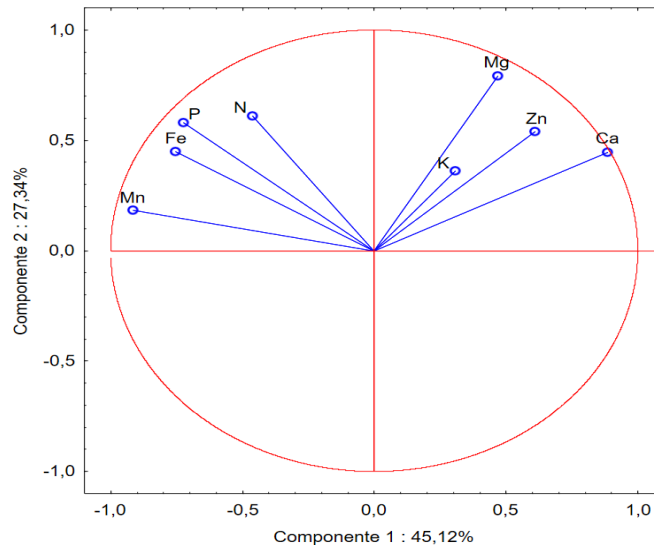


Figura 2. Distribuição de variáveis, no círculo de correlações representando a relação entre os componentes principais 1 e 2 do tecido vegetal da cultura da cana-de-açúcar.

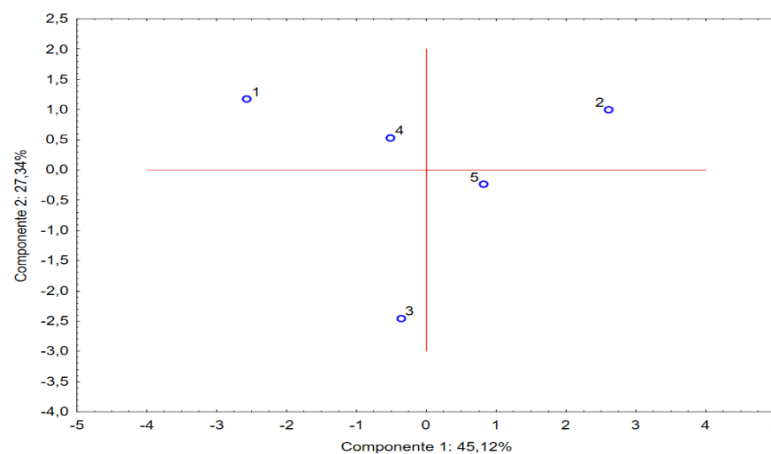


Figura 3. Distribuição dos tratamentos no plano representando a relação entre os componentes principais 1 e 2 do tecido vegetal da cultura da cana-de-açúcar

A análise dos componentes principais revelou que o componente 1 explica 45,12% da variação dos dados, destacando-se o cálcio no limite do círculo de correlação. Já no componente 2, tem-se 27,34% de explicação da variação total dos dados. Os elementos cálcio, magnésio, manganês e fósforo se mostraram os mais relevantes para a cana-de-açúcar, pois estão mais próximo ao círculo de correlação. Em termos de acúmulo foliar para os macronutrientes, apenas

T4 apresentou N dentro da faixa recomendada (van Raij; Cantarella, 1997). P, Ca e Mg superaram as faixas; K foi adequado em todos os tratamentos. Para os micronutrientes, Fe e Mn estiveram sempre dentro dos limites recomendados; zinco excedeu apenas em T2.

Conforme a Figura 4, a análise de agrupamento mostrou dois grupos distintos (T1, T3, T4 e T2, T5), e a análise fatorial mostrada na Tabela 2 evidencia que as cargas fatoriais do fator 1 que representam alta explicação estão representadas nos nutrientes fósforo, ferro, manganês e nitrogênio. Já as cargas do fator 2 se concentraram nos nutrientes cálcio, magnésio e zinco.

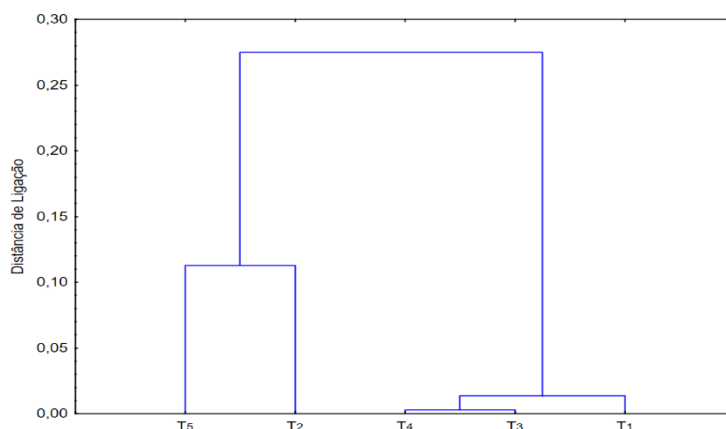


Figura 4. Dendrograma vertical da análise de agrupamento de macro e micronutrientes no tecido vegetal da cana-de-açúcar por meio da distância euclidiana utilizando o método de Ward.

Tabela 3. Matriz de cargas fatoriais após rotação ortogonal pelo método varimax, extraídos por componentes principais, destacando-se os macros e micronutrientes com cargas superiores a 0,70 (em módulo)

Variáveis	Cargas Fatoriais	
	Fator 1	Fator 2
N	0,75	0,17
P	0,93	-0,02
K	0,00	0,47
Ca	-0,39	0,91
Mg	0,15	0,91
Fe	0,86	-0,14
Mn	0,82	-0,45
Zn	-0,12	0,80
Autovalores	3,61	2,19
Variância Total (%)	45,12	27,34
Variância Total Acumulada (%)	45,12	72,46

Apresentam-se, na Tabela 4, os valores médios de macro e micronutrientes das folhas de cana-de-açúcar fertirrigada com doses de água residuária doméstica e respetivo padrão do estado nutricional.

Tabela 4. Valores médios de macro e micronutrientes das folhas da cana-de-açúcar fertirrigada com doses de água residuária doméstica e respetivo padrão do estado nutricional

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn
	g kg ⁻¹				mg kg ⁻¹			
T1	17,50	13,48	29,98	12,79	19,74	116,50	151,73	33,11
T2	16,19	7,23	34,42	44,21	22,56	72,33	71,60	52,65
T3	15,09	6,82	30,23	11,08	14,63	73,56	104,19	24,58
T4	21,44	12,67	47,03	22,45	23,50	94,03	136,70	29,89
T5	17,06	12,43	38,89	31,30	26,50	104,98	77,80	33,78
Padrão ⁽¹⁾	18-25	1,5-3,0	10-16	2,0-8,0	1,0-3,0	40-250	25-250	10-50

Nota: (1) van Raij e Cantarella (1997).

Com relação a faixa de teores adequados de macro e micronutrientes em folhas de cana-de-açúcar tem-se (van Raij; Cantarella, 1997): N teve apenas T4 dentro da faixa; Fe e Mn apresentou teores dentro da faixa para todos os tratamentos, enquanto P, K, Ca e Mg ficaram acima do limite superior; e Zn foi superior ao limite da faixa apenas em T2.

CONCLUSÕES

Os elementos químicos P, Ca, Mg, Fe e Mn apresentaram comportamento relevante em todos os tratamentos. Já T4 e T5 apresentaram comportamento médio, enquanto o micronutriente zinco se mostrou pouco relevante, devido ao seu menor aporte nas águas e na dinâmica de translocação do mesmo na planta.

O tratamento T3 diferiu dos demais no que se refere ao armazenamento de macro nutrientes e micronutrientes no tecido vegetal em função de seu percentual de água residuária em relação à água de poço, enquanto T1 e T5 apresentaram comportamento antagônico, devido a diferença de aporte de macronutrientes e micronutrientes pelos dois tipos de águas empregados nos ensaios experimentais.

Nos fatores 1 e 2, tanto os macronutrientes quanto os micronutrientes apresentaram relevância e maiores cargas fatoriais.

As diluições de água residuária doméstica em água de poço proporcionaram diferentes efeitos na dinâmica de armazenamento de macro e micronutrientes no tecido foliar, no entanto esse comportamento foi similar entres os tratamentos T2 e testemunha.

Com relação à classificação do estado nutricional tem-se que os teores de Fe e Mn estão dentro da faixa recomendada para a cultura conforme padrões da literatura juntamente com o Zn, com exceção de T2 que se mostrou superior a faixa recomendada.

Dentre os tratamentos destaca-se T4 pelo maior armazenamento de N, P, Fe e Mn no tecido vegetal da cana-de-açúcar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, p. 711–728, 2013.

BAIRD, R. B.; EATON, A. D.; RICE, E. W. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 23.ed. Washington: APHA, AWWA, WPCR, 2017. 1504p.

DUTRA, I. C. B. **Uso de água residuária de origem doméstica no cultivo da pimenta malagueta na região da Chapada do Apodi-RN**. Mossoró: UFERSA, 2013. 69p. Dissertação Mestrado

FERREIRA, A. K. C. **Avaliação de métodos de análises químicas de nutrientes em tecido vegetal**. Mossoró: UFERSA, 2014. 88p. Tese Doutorado.

HAIR JÚNIOR., J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: **Bookman**, 2009. 688 p.

MATOS, A. T.; MATOS, M. P. **Disposição de águas residuárias no solo e em sistemas alagados construídos**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2017. 371 p.

PRADO, R. M. **Manual de nutrição de plantas forrageiras**. Jaboticabal: FUNESP, 2008.500 p.

SANTOS H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. Á.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed., rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2018. 356 p.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2009. 627p.

SCHAER-BARBOSA, M.; SANTOS, M. E. P.; MEDEIROS Y. D. P. Viabilidade do reúso de água como elemento mitigador dos efeitos da seca no semiárido da Bahia. **Ambiente & Sociedade**, v. 17, n. 2, p. 17-32, 2014.

VAN RAIJ, B.; CANTARELLA, H. Outras culturas industriais. In: VAN RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: IAC, 1997. Cap. 24, p. 261-273.

ZANELLA, M. E. Considerações sobre o clima e os recursos hídricos do semiárido nordestino. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 1, n. 36, p. 126-142, 2014.