Aporte de nutrientes e estado nutricional da cana-de-açúcar irrigada com efluente de estação de tratamento de esgoto com e sem desinfecção

NUTRIENTS INPUT AND NUTRITIONAL STATE OF SUGARCANE IRRIGATED WITH DISINFECTED AND NON-DISINFECTED TREATED SEWAGE EFFLUENT

Tamara M. Gomes⁽¹⁾
 Adolpho José Melfi⁽²⁾
 Célia R. Montes⁽³⁾
 Elisabete da Silva⁽⁴⁾
 Gilberto C. Sundefeld Júnior⁽⁵⁾
 Magnus Dall'Igna Deon⁽⁶⁾
 Roque Passos Piveli⁽⁷⁾

⁽¹⁾Pós-Doutoranda NUPEGEL/ESALQ/USP

⁽²⁾Prof. Titular LSO/NUPEGEL/ESALQ/USP

⁽³⁾Prof. Doutora NUPEGEL/CENA/USP

⁽⁴⁾Graduanda em Biologia UNIMEP

⁽⁵⁾Doutorando em Eng. Civil-Hidráulica, POLI/USP

⁽⁶⁾Doutorando em Agronomia, LSO/NUPEGEL/ESALQ/USP

⁽⁷⁾Prof. Associado POLI/USP.

Endereço: Av. Pádua Dias, 11 – São Judas – 13418-900, Piracicaba, SP – Brasil – e-mail: tmgomes@esalq.usp.br.

RESUMO

O trabalho teve como objetivo quantificar o aporte de nutrientes e avaliar o estado nutricional da cultura de cana-de-açúcar irrigada com efluente de estação de tratamento de esgoto (EETE) e EETE desinfetado (EETED) no município de Piracicaba-SP. Para a caracterização do EETE e EETED foram realizadas análises químico-físico-microbiológicas. Foi avaliado o estado nutricional das plantas nos tratamentos sem irrigação (SI) e irrigados com EETE e EETED. A desinfecção do efluente atingiu o objetivo sanitário e muito pouco foi alterado na constituição do EETED, havendo apenas incremento no teor de $P-PO_4^-$. Foi constatado pelas análises de diagnóstico foliar que a irrigação com EETE e EETED supriu totalmente a necessidade de adubação mineral para P e S, proporcionando incrementos de Ca, Mg e Zn, na cana-de-açúcar quando comparado ao tratamento SI.

ABSTRACT

The objectives of this study were to quantify the nutrient input and to evaluate the nutritional state of sugarcane irrigated with treated sewage effluent (TSE) and disinfected TSE (DTSE). The experiment was carried out in Piracicaba, São Paulo State, Brazil. For characterization of TSE and DTSE, chemical physical and microbiological analyses were carried out. The nutritional state of sugarcane plants without and with irrigation with TSE and DTSE were evaluated by foliar analysis. The disinfection of the effluent with sodium hypochlorite reached the sanitary regulations. The composition of STPE was slightly modified by disinfection, showing higher $P-PO_4^-$ concentration. The foliar diagnosis showed clearly that the irrigation with ESTS and ESTSD could meet the P and S requirements of sugarcane, and provided significant increases in Ca, Mg and Zn foliar levels compared with the un-irrigated area.

Palavras-chave: nutrientes, cana-de-açúcar, efluente, gotejamento subsuperficial, hipoclorito de sódio.

Keywords: nutrients, sugarcane, effluent, subsurface drip, sodium hypochlorite.

INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com a disponibilidade de água para o consumo humano tem levado à procura de usos alternativos para as águas de menor qualidade. A aplicação de águas residuárias provenientes de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) na agricultura torna-se uma excelente opção como forma de preservação dos recursos hídricos próximos aos centros urbanos e como fonte de água e nutrientes para as culturas. Muitos pesquisadores têm encontrado benefícios na produtividade das culturas irrigadas com efluente de ETE (FONSE-

CA *et al.*, 2007; LEAL, 2007). No que se refere ao desenvolvimento nutricional das plantas, o efluente de esgoto apresenta características agronomicamente desejáveis como a presença dos macronutrientes nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) (FONSECA, 2001).

Entretanto, não é uma prática isenta de riscos, principalmente devido à presença de determinados constituintes característicos de esgoto doméstico, como por exemplo, o sódio e organismos patogênicos, prejudiciais ao solo, às plantas e, conseqüentemente, ao ser humano. A cultura da cana-de-açúcar, destinada à produção de etanol, apresenta grande potencial de ser irrigada com efluente de ETE, principalmente em áreas sujeitas a déficit hídrico. O cenário nacional sucroalcooleiro tem expandido a cada ano, com previsão de 8,9 milhões de hectares para a safra 2008/09 (AGRIANUAL, 2009).

A legalização do uso de águas residuárias na agricultura certamente colocará parâmetros bacteriológicos que tornarão necessárias a desinfecção do efluente para o controle de doenças veiculadas pela água. Dentre as formas mais utilizadas para desinfecção está a cloração, que pode ser realizada, dentre outras maneiras, na forma de aplicação de solução de hipoclorito de sódio, que age como oxidante de material celular. Entretanto o cloro empregado em águas rica de compostos orgânicos, como o caso de efluentes de ETE, pode levar a formação de compostos potencialmente prejudiciais à saúde humana, como compostos organoclorados (DANIEL, 2001). Como conseqüência do poder oxidante do cloro pode haver alterações nos constituintes do efluente relacionados ao suprimento de nutrientes a planta e sua disposição no solo. O presente trabalho teve como objetivo quantificar o aporte de nutrientes e avaliar o estado nutricional da cultura de cana-de-açúcar irrigada com efluente de ETE *in natura* e efluente de ETE desinfetado por solução de hipoclorito de sódio.

METODOLOGIA

O experimento foi conduzido no município de Piracicaba-SP (22°46'24" S, 47°36'32" W), sob clima subtropical úmido do tipo Cwa segundo classificação de Köppen, com temperaturas do mês mais quente superior a 22°C e do mês mais frio inferior a 18°C, em área canavieira pertencente ao grupo COSAN, ao lado da ETE operada pelo SEMAE (Serviço municipal de água e esgoto).

A ETE é composta por lagoas de estabilização do tipo Australiano com lagoa anaeróbia, lagoa facultativa primária e lagoa facultativa secundária. Atualmente, atende aproximadamente 7.000 habitantes e recebe também lodo de caminhões limpa-fossa e chorume de aterro sanitário. A vazão média da ETE medida no período desta pesquisa foi de 10,16 L s⁻¹.

O solo predominante foi classificado como Argis-

solo Vermelho-Amarelo eutrófico típico. A variedade da cana-de-açúcar plantada foi SP 903414, que se destaca pelo porte ereto, por não florescer, isoporizar pouco e pela alta produção. A adubação foi realizada de acordo com análise química do solo, segundo a recomendação de Rajj *et al.* (1996) (120 kg ha⁻¹ de N, 30 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 120 kg ha⁻¹ de K₂O), entretanto a dose de nitrogênio foi reduzida à metade (60 kg ha⁻¹ de N), com intuito de ser complementado pelo efluente.

O delineamento experimental adotado para avaliação do estado nutricional da cultura foi em faixas com três tratamentos e quatro repetições. O tamanho das parcelas foi de 10 x 30m, perfazendo uma área total de 300 m², com seis linhas de plantio espaçadas a 1,4 m. Das seis linhas de plantio apenas cinco foram irrigadas e as três centrais foram consideradas úteis para avaliação, perfazendo uma área de 84 m². Os tratamentos empregados foram baseados na irrigação com efluente de ETE *in natura* (EETE), com efluente de ETE com desinfecção (EETED) por solução de hipoclorito de sódio e sem irrigação (SI).

O período de irrigação foi de out/2007 a Jul/2008, referente a 1ª soca da cana-de-açúcar. O sistema de irrigação adotado foi do tipo gotejamento subsuperficial instalado ao lado de cada linha de plantio, enterrado à profundidade de 20cm. Os gotejadores estavam espaçados a cada 0,50 cm, com vazão e pressão de serviço de 1,75 L h⁻¹ e 100 kPa, respectivamente. A lâmina de irrigação aplicada foi determinada com base no balanço hídrico considerando a evapotranspiração da cultura (ETc) e a precipitação pluvial. A ETc foi estimada pela evaporação do tanque Classe A instalado em área próxima à área experimental, utilizando os coeficientes de cultura (Kc) proposto por Doorenbos & Pruitt (1977) que leva em consideração os diferentes estádios de desenvolvimento. A precipitação pluvial total referente ao cultivo da 1ª soca foi de 1.521 mm.

Para a determinação dos conteúdos foliares de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn, Al, Cr, Ni, Pb, foi amostrado o terço central de 25 folhas + 1 com a nervura da folha descartada. A coleta das folhas diagnóstico ocorreu aproximadamente 4 meses após a rebrota, segundo recomendação de Malavolta *et al.* (1997). Para determinação do nitrogênio, uma fração representativa do material vegetal seco e moído (1,600 mg) foi condicionada em cápsulas de estanho e encaminhadas ao analisador elementar (Carlo Erba, modelo EA 1110) acoplado a um espectrômetro de massa Finigan Delta Plus. Para a avaliação das concentrações dos outros nutrientes foi realizada digestão nítrico-perclórica e leitura através de espectrometria de emissão atômica em plasma acoplado indutivamente (ICP-OES).

Os resultados da diagnose foliar foram submetidos a análise de variância com significância estatística de 5%. Todas as análises estatísticas foram

realizadas mediante o emprego do programa de computador SAS versão 9.1.

A captação do efluente da ETE foi realizada a partir da saída da lagoa facultativa secundária, alimentando um sistema de filtro de areia pressurizado, como tratamento terciário da ETE uma vez que a concentração média de sólidos em suspensão (SS) do efluente desta ETE é $110,77 \pm 36,89 \text{ mgSS L}^{-1}$. O sistema de desinfecção por solução de hipoclorito de sódio, foi construído com tanque de contato de cloro (TCC). Inicialmente adotou-se para operação do TCC a dosagem de $17 \text{ mgCl}_2 \text{ L}^{-1}$ devido a grande concentração de SS no efluente da ETE, ajustando-a até $6 \text{ mgCl}_2 \text{ L}^{-1}$ onde se encontrou a dosagem com eficiência satisfatória na remoção de coliformes e menor concentração de cloro residual possível. Neste sistema foram determinados SS por secagem de amostra em estufa à 103° , em mufla à 550° e pesagem; coliformes por contagem em substrato cromogênico e cloro residual livre e combinado pelo método *N, N*-Dietil-*p*-fenildiamina (DPD-Colorimétrico).

A caracterização químico-física do EETE e EETED foi realizada pela coleta de doze amostras com frequência mensal. Foram determinados pH e CE. Parte das amostras foi preservada com solução de cloreto de mercúrio 30 mmol L^{-1} para posterior determinação da concentração de carbono orgânico dissolvido (COD) e carbono inorgânico dissolvido (CID), pelo uso do equipamento Shimadzu TOC-5000A. O material particulado retido pela microfibras de vidro foi utilizado para a determinação de carbono total (CT) e nitrogênio total (NT), por combustão a seco. A determinação de K, Na, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Mn, Zn, Al, Cd, Cr, Ni, Pb foi realizada por ICP-OES e a determinação de P-PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , N-NH_4^+ , N-NO_2^- , N-NO_3^- , Cl^- , foi realizada por análise contínua por injeção em fluxo (FIA). Com os valores de Na, Ca, e Mg determinados, foi calculada a razão de adsorção de sódio (RAS) pela equação descrita por Ayers & Westcot (1999). Para os doze valores de efluente analisados foram calculados a média e o desvio padrão. Por ocasião da colheita foi determinada a produtividade da área sem irrigação e das áreas irrigadas com EETE e com EETED, pesando-se os colmos cortados dentro da área útil.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A lâmina de irrigação total aplicada, referente à demanda hídrica da cultura, durante o cultivo da 1ª soca da cana-de-açúcar nos tratamentos com EETE e EETED foi de 565 mm . As produtividades obtidas foram $110,20 \text{ Mg ha}^{-1}$, $148,38 \text{ Mg ha}^{-1}$ e $137,43 \text{ Mg ha}^{-1}$ para os tratamentos SI, EETE e EETED, respectivamente.

O sistema de filtração apresentou eficiência média de 29% na remoção de sólidos em suspensão levando a concentração no efluente a $79,00 \pm 37,52 \text{ mgSS L}^{-1}$. Os resultados médios obtidos relacionados à *Escherichia*

Coli (*E. Coli*), pertencente ao grupo dos coliformes termotolerantes e coliformes totais (CT) nas amostras afluentes ao TCC foram $6,56 \times 10^4 \pm 3,75 \times 10^4 \text{ E. Coli/100 mL}$ e $1,87 \times 10^4 \pm 1,96 \times 10^4 \text{ CT/100 mL}$, respectivamente. Entretanto as análises do efluente desinfetado, após o TCC, foram em média da ordem de $40 \pm 105 \text{ E. Coli/100 mL}$ e $200 \pm 466 \text{ CT/100 mL}$, valor abaixo do limite máximo recomendado pela Resolução CONAMA 357/2005, para uma aplicação média de $9,76 \pm 3,37 \text{ mgCl}_2 \text{ L}^{-1}$ em tempo de contato aproximado de 50 minutos, garantindo desta forma a segurança da saúde pública através da proteção dos operadores deste sistema de irrigação. No Brasil, os limites estabelecidos anteriormente pela Resolução Conama 20/86 para águas de classe 2 destinadas à irrigação de vegetais, sem ingestão direta eram de 1.000 coliformes fecais (CF)/100 mL e 5.000 coliformes totais (CT)/100 mL. Atualmente vigora a Resolução Conama 357/2005 que enquadra na Classe 3 a irrigação de arbóreas e forrageiras sendo que não deverá ser excedido um limite de 4.000 coliformes termotolerantes por 100 mL. A concentração de cloro residual livre teve média de $0,49 \pm 0,50 \text{ mgCl}_2 \text{ L}^{-1}$ e cloro residual combinado $0,61 \pm 0,44 \text{ mgCl}_2 \text{ L}^{-1}$, somando $1,00 \text{ mgCl}_2 \text{ L}^{-1}$ de cloro residual total (CRT). Este valor atende as orientações das diretrizes da USEPA (2004) para o uso agrícola de esgoto sanitário, proveniente de processo de tratamento secundário com desinfecção onde CRT deve ser igual ou maior a $1,00 \text{ mgCl}_2 \text{ L}^{-1}$ com tempo de contato mínimo de 30 minutos.

A Tabela 1 apresenta os resultados das análises de EETE e EETED, com os respectivos aportes de nutrientes fornecidos pela lâmina de irrigação aplicada e porcentagem de atendimento da necessidade da cultura (ANC) com base na exportação de nutrientes pela colheita de 140 Mg (valor considerado médio para as produtividades obtidas) de colmos de cana-de-açúcar adaptado de Orlando Filho Jr. (1983). As concentrações dos constituintes determinados são característicos de esgotos domésticos segundo Metcalf & Eddy (2003), principalmente pela presença de N, P, Na, Cl e S e por valores abaixo do limite de detecção (LD) pelo método utilizado para metais pesados como Cd, Cu, Ni, Pb e Zn. A variação representada por altos valores de desvio padrão para determinados constituintes é característica da sazonalidade. Dentre os constituintes analisados as maiores diferenças nas concentrações entre EETE e EETED foram observadas para P-PO_4^{3-} e S, sendo que os demais valores pouco se alteraram. Com relação ao P-PO_4^{3-} houve considerável aumento no EETED, sugerindo que a aplicação da solução de hipoclorito de sódio oxidou a matéria orgânica existente, disponibilizando este constituinte. Souza & Daniel (2005) também verificaram alterações nos constituintes de água rica em matéria orgânica, resultante da oxidação da mesma pela desinfecção com hipoclorito de sódio. A presença de Na na solução de desin-

fecção não alterou a concentração do mesmo no EETED, mantendo o valor da RAS em níveis aceitáveis (Richards, 1954) contra o risco de sodificação do solo.

Observando o aporte de nutrientes em relação a uma projeção ao atendimento à necessidade da cultu-

ra, pela exportação de P, S, N, Ca, Mg, K, B, Cu, Fe, Mn, e Zn, para a produção de 140 Mg de cana-de-açúcar, adaptado de Orlando Filho Jr. (1983), verificamos que a irrigação com EETE e EETED seria capaz de suprir completamente a adubação de S, N, Ca, K e B e

Tabela 1. Resultados de análises (média de 12 amostras, coletadas mensalmente) de efluente de estação de tratamento de esgoto in natura (EETE) e desinfetado com hipoclorito de sódio (EETED), exportação de nutrientes pela colheita de 140 Mg de colmos de cana-de-açúcar, aporte de nutrientes, atendimento da necessidade da cultura (ANC)

Constituintes	Exportação ¹ (kg 140 Mg ⁻¹)	<i>in natura</i>			Desinfetado		
		EETE ² mg L ⁻¹	Aporte Kg ha ⁻¹	ANC %	EETED ² mg L ⁻¹	Aporte Kg ha ⁻¹	ANC %
CID ³	-	234,50±103,42	1324,93	-	218,94±64,83	1237,03	-
COD ⁴	-	23,52±12,87	132,91	-	23,99±5,59	135,54	-
P-PO ₄ ⁻	15,4	2,53±1,94	14,30	93	4,82±1,38	27,21	177
S	36,4	36,78±21,90	207,79	571	24,49±13,24	138,38	380
N-NH ₄ ⁺	-	26,33±4,29	148,77	-	24,86±4,94	140,46	-
N-NO ₂ ⁻	-	0,02±0,01	0,12	-	0,07±0,06	0,42	-
N-NO ₃ ⁻	-	0,07±0,03	0,40	-	0,16±0,11	0,88	-
NT ⁵	-	2,51±1,01	14,19	-	1,97±0,93	11,12	-
N – Total ⁶	116,2	28,94±3,90	163,48	141	27,06±4,71	152,87	131
CT	-	13,69±5,34	77,34	-	11,38±5,71	64,30	-
C/N	-	5,49±0,23	31,03	-	5,74±0,21	32,44	-
Cl ⁻	-	75,01±48,56	423,81	-	79,65±43,71	450,02	-
Ca	65,8	14,15±8,87	79,95	121	15,72±9,86	88,79	135
Mg	46,2	4,97±1,81	28,05	61	5,20±1,43	29,40	64
Na	-	66,90±26,50	377,97	-	67,43±19,92	380,96	-
K	109,2	25,73±9,89	145,38	133	26,61±10,53	150,37	138
Al	-	< LD ⁹	-	-	< LD	-	-
B	0,209	0,08±0,04	0,45	215	0,074±0,004	0,42	201
Cd	-	< LD	-	-	< LD	-	-
Cr	-	0,007±0,01	0,04	-	0,007±0,01	0,04	-
Cu	0,328	0,013±0,02	0,07	22	0,012±0,01	0,07	20
Fe	1,95	0,043±0,04	0,25	12	0,024±0,01	0,14	7
Mn	1,473	0,031±0,04	0,18	11	0,036±0,02	0,20	13
Ni	-	< LD	-	-	< LD	-	-
Pb	-	< LD	-	-	< LD	-	-
Zn	0,517	< LD	-	0,00	< LD	-	0
RAS ⁷	-	3,82±1,22	-	-	3,86±1,42	-	-
pH	-	7,47±0,24	-	-	7,64±0,11	-	-
CE ⁸	-	821,00±118,04	-	-	892,83±114,21	-	-

¹Adaptado de Orlando Filho Jr. (1983); ²Média ± desvio padrão; ³Carbono Inorgânico Dissolvido; ⁴Carbono Orgânico Dissolvido; ⁵nitrogênio total no material particulado; ⁶nitrogênio total presente no EETE; ⁷razão de adsorção de sódio (mmol L⁻¹)^{1/2}; ⁸condutividade elétrica (μS cm⁻¹); ⁹limite de detecção.

ainda a irrigação com EETED seria suficiente também para suprir o P.

A avaliação do estado nutricional da cultura pela análise química foliar (Tabela 2 e 3) revelou efeitos positivos da irrigação sobre as concentrações foliares de fósforo, cálcio, magnésio, enxofre e zinco, indicando maior disponibilidade destes nutrientes para a cultura nos tratamentos irrigados (EETE e EETED). Os demais elementos N, B, Cu, Fe e Mn não sofreram alterações quando irrigados com efluente.

Mesmo com as plantas apresentando teores foliares de fósforo considerados adequados por Malavolta *et al.* (1997) no tratamento sem irrigação, esta foi capaz de incrementar as concentrações foliares deste elemento (Figura 1A) tanto na irrigação com EETE como na irrigação com EETED. Embora o fósforo tenha-se apresentado mais disponível no efluente desinfetado, como apresentado anteriormente, com relação ao estado nutricional da planta não foi verificado diferenças entre os tratamentos irrigados. O fósforo é um nutriente imóvel no solo e de manejo crítico na maioria dos solos brasileiros. Apesar da pequena quantidade que fornece deste nutriente frente à recomendação de fertilizante mineral, o efluente pode ser considerado fonte potencial de fósforo, por apresentar formas desse elemento mais disponíveis, em virtude do pH próximo da neutralidade e do fornecimento conjunto com água.

A concentração foliar de S apresentou-se abaixo da faixa considerada adequada (2,5 - 3,0 g kg⁻¹) no tratamento não irrigado e dentro da faixa de normalidade nos tratamentos irrigados, indicando a melhora do estado nutricional da cultura para esse elemento pela

irrigação com efluente de estação de tratamento de esgoto (Figura 1B). Cálcio e magnésio foram dois nutrientes com teores foliares abaixo do considerado normal pela tabela de interpretação preconizada por Malavolta *et al.* (1997) em todos os tratamentos, no entanto, as plantas que receberam irrigação com EETE e EETED apresentaram elevação desses teores em relação ao tratamento que não recebeu irrigação (Figuras 1C e 1D) o que indica a possibilidade de melhorar a nutrição para estes elementos com a irrigação continuada com efluente.

Com relação à concentração foliar de potássio houve diminuição com a irrigação (Figura 1E), apesar do fornecimento deste nutriente pelos efluentes empregados na irrigação. Este tipo de comportamento pode ser explicado pelo melhor desenvolvimento vegetativo da planta com diluição do elemento nos tecidos, ou pela inibição competitiva da absorção por outros cátions presentes no efluente, como Ca, Mg e Na. A concentração deste nutriente situou-se na faixa considerada deficiente por Malavolta *et al.* (1997), mas sem que tenham sido observados prejuízos à produção ou sintomas de deficiência.

Os resultados da diagnose foliar para os micronutrientes (Tabela 3) também foram comparados com os valores apresentados por Malavolta *et al.* (1997). A concentração de Zn indica que esse elemento encontra-se abaixo dos valores considerados adequados no tratamento não irrigado. Porém as concentrações do Zn aumentaram significativamente com o uso do efluente, representando uma melhoria do estado nutricional na cultura pela irrigação com efluente (Figura 1F).

O aporte de nutrientes pela irrigação com efluente,

Tabela 2. Concentração média dos macronutrientes nas folhas diagnóstico da cana-de-açúcar (folha +1) aos 4 meses após a rebrota, não irrigada (SI), irrigada com efluente de estação de tratamento de esgoto in natura (EETE) e desinfetado com hipoclorito de sódio (EETED)

Elemento	Concentração (g kg ⁻¹)			Referência Malavolta et al., 1997 (g kg ⁻¹)
	SI	EETE	EETED	
N	21,5±0,07	22,3±0,24	22,2±0,05	20 – 22
K*	13,59±0,85	11,55±0,22	11,56±0,38	13 – 15
P*	1,98±0,12	2,53±0,11	2,53±0,20	1,8 – 2,0
Ca*	4,05±0,50	4,96±0,09	4,96±0,15	5,0 – 7,0
Mg*	1,48±0,03	1,78±0,06	1,78±0,11	2,0 – 2,5
S*	2,08±0,14	2,84±0,15	2,84±0,27	2,5 – 3,0

*: análise de variância significativa ($p < 0,05$)

Tabela 3. Concentração dos micronutrientes nas folhas diagnóstico da cana-de-açúcar (folha +1) aos 4 meses após a rebrota, não irrigada (SI), irrigada com efluente de estação de tratamento de esgoto in natura (EETE) e desinfetado com hipoclorito de sódio (EETED)

B	4,37±3,44	3,72±0,68	3,73±1,36	-
Cu	4,37±0,18	4,09±0,24	4,09±0,43	8 – 10
Fe	97,91±6,04	102,81±4,58	102,81±7,71	80 – 150
Mn	62,71±8,57	65,78±8,25	65,78±14,30	50 – 125
Zn*	14,29±0,59	20,49±1,15	20,49±1,99	25 – 30

*: análise de variância significativa ($p < 0,05$)

diante as projeções de ANC, foi efetivo no fornecimento de P e S em substituição total à adubação mineral, como verificado pelas análises do estado nutricional das plantas. Entretanto para os elementos N, K, Ca e B o aporte esperado não foi verificado no momento da análise foliar, embora tenha havido um incremento significativo de Ca, Mg e Zn nos tratamentos irrigados. Esse comportamento pode ser atribuído ao manejo da irrigação baseado na demanda hídrica da cul-

tura sujeito às variações climáticas e ao desenvolvimento fenológico das plantas. Desta forma, embora o efluente apresente quantidades de nutrientes suficientes para suprimir a adubação mineral, as necessidades nutricionais da cultura podem não ser atendidas, em situações de precipitação elevada, situação na qual seria também necessário o armazenamento do EETED ou sua disposição em corpos d'água.

Figura 1. Teores foliares de fósforo, enxofre, cálcio, magnésio, potássio e zinco na folha +1 da cana-de-açúcar aos 4 meses após a brotação da soqueira. Barras de erro indicam o erro padrão da média (n=4). SI sem irrigação; EETE irrigação com efluente de estação de tratamento de esgoto *in natura*; EETED irrigação com efluente de estação de tratamento de esgoto desinfetado com hipoclorito de sódio

CONCLUSÕES

A desinfecção do efluente com hipoclorito de sódio atingiu o objetivo sanitário, tornando o efluente seguro para aplicação pela irrigação. Muito pouco foi alterado na constituição do EETED em relação EETE, havendo incremento no teor de $P-PO_4^-$, o que beneficia o desenvolvimento da cultura. A irrigação EETE e com EETED supriu totalmente a necessidade de adubação mineral na cana-de-açúcar para P e S, e proporcionou incrementos significativos de Ca, Mg e Zn, quando comparado ao tratamento sem irrigação, constado pelas análises de diagnose foliar. A prática do reuso agrícola pode ser realizada de forma segura, trazendo benefícios à cultura, além da economia de insumos como água e fertilizantes.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP, COSAN E SEMAE pelo apoio recebido.

REFERÊNCIAS

AGRIANUAL: *anúário da agricultura brasileira*. FNP CONSULTORIA E COMÉRCIO. São Paulo, 2009. p. 235-256: Cana-de-açúcar.

AYRES, R. S., WESTCOT, D. W. *A qualidade da água na agricultura*. Tradução de H. R. Gheyi, J. F. de Medeiros, F. A. V. Damasceno., v. 29 revisado 1 (FAO). Tradução de Water quality for agriculture. Campina Grande: UFPB, 1999, 218p.

CONAMA nº 20. Resolução 20/1986 do Conselho Nacional de Meio Ambiente. Disponível em: www.mma.gov.br/conama.

CONAMA nº 357. Resolução 357/2005 do Conselho Nacional de Meio Ambiente. Disponível em: www.mma.gov.br/conama.

DANIEL, L. A. Alternativas para desinfecção de esgoto sanitário. In: I SEMINÁRIO NACIONAL DE MICROBIOLOGIA APLICADA AO SANEAMENTO. Anais...Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo. 6p. 2001.

DOORENBOS, J., PRUITT, W. O. Guidelines for predicting crop water requirements. Rome: FAO, 1977. 179p. (*Estudos FAO: Irrigação e Drenagem*, 24).

FONSECA, A. F. Disponibilidade de nitrogênio, alterações nas características químicas do solo e do milho pela aplicação de efluente de esgoto tratado. Piracicaba, 2001. 110p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

FONSECA, A. F.; MELFI, A. J.; MONTEIRO, F. A.; MONTES, C. R.; ALMEIDA, V. V.; HERPIN, U. Treated sewage effluent as a source of water and nitrogen for tifton 85 bermudagrass. *Agric. Water Management*. v. 87, p. 328-336, 2007.

LEAL, R. M. P. Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado em propriedades químicas de um Latossolo cultivado

com cana-de-açúcar. 2007. 107p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – ESALQ/USP, Piracicaba, 2007.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319p.

METCALF & EDDY, INC. *Wastewater engineering: treatment disposal and reuse*. 4. ed. Nova York, Mc Graw-Hill, 2003.

ORLANDO FILHO, Jr. *Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil*. Piracicaba, 1983. 369p. (coleção Planalsucar).

SOUZA, J. DANIEL, L. A. Comparação entre hipoclorito de sódio e ácido peracético na inativação de E. coli, colifagos e C. perfringens em água com elevada concentração de matéria orgânica. *Eng. Sanit. Ambient.*, v. 10, n.2, p. 111-117, 2005.

RAIJ.B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1996. 285p. (Boletim Técnico 100).

RICHARDS, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington DC, US Department of Agricultura, 1954. 160p. (*USDA Agricultural Handbook*, 60).

USEPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Guidelines for water reuse*. 2º ed. Washington DC: USEPA, 2004. (Report N° EPA/625/R-04/108). Disponível em: www.epa.gov/ord/NRMRL/pubs/625r04108/625r04108.pdf.