

# CANA-DE-AÇÚCAR CULTIVADA EM SOLO ADUBADO COM LODO DE ESGOTO: NUTRIENTES, METAIS PESADOS E PRODUTIVIDADE<sup>1</sup>

FÁBIO CESAR DA SILVA<sup>2</sup>, ANTONIO ENEDI BOARETTO<sup>3</sup>, RONALDO SEVERIANO BERTON<sup>4</sup>,  
HELDER BASAGLIA ZOTELLI, CARLOS ALBERTO PEIXE e ELAINE MENDONÇA<sup>5</sup>

**RESUMO** - A pesquisa objetivou avaliar o uso de lodo de esgoto (Le) na adubação de soqueira (2ª corte) de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp., var. RB72-454). Aplicou-se Le ao solo, localizando-o no fundo de um sulco com 15 cm de profundidade e distando 40 cm da linha de cana. Avaliaram-se os efeitos das doses do Le (0, 15 e 30 t.ha<sup>-1</sup>) nas produtividades de biomassa e de açúcar, nos teores de nutrientes e de metais pesados do solo e da planta. O Le diminuiu a acidez potencial (H + Al) do solo e forneceu nutrientes para a cana-de-açúcar, principalmente P, S, Ca, Cu e Zn, o que refletiu em aumentos de produtividades de colmos e de açúcar por hectare. O Le causou aumentos de exportações de P, S, Ca, Cu, K, Mg e Ni pela parte aérea da cana-de-açúcar; tais aumentos, por sua vez, foram motivados pelos aumentos dos teores destes elementos no tecido vegetal, e da produtividade em biomassa. Os metais pesados (Cd, Cr, Ni e Pb), contidos no Le, não apresentaram perigo à cadeia trófica à curto prazo.

Termos para indexação: resíduo urbano, fertilizante orgânico, *Saccharum*, adubação de soqueira, produtividade de biomassa, acidez potencial de solos.

## SUGARCANE GROWN IN FERTILIZED SOIL WITH SEWAGE SLUDGE: NUTRIENTS, HEAVY METALS AND PRODUCTIVITY

**ABSTRACT** - The present research aimed to evaluate the effect of sewage sludge (SS) on nutrient and heavy metal absorption and productivity of sugarcane's (*Saccharum* spp., var. RB72-454) ratoon. Sewage sludge was placed at 40 cm from plant row and at 15 cm depth, at the rates of 0, 15 and 30 t.ha<sup>-1</sup>. Sewage sludge decreased soil potential acidity (H + Al) and behaved as a source of Ca, P, S, Cu and Zn for sugarcane growth, as observed by the linear increases in biomass and sugar productivities. Addition of SS increased Ca, Cu, K, Mg, Ni, P and S exportations by sugarcane plant tops, as a result of their increases in plant tissue. Heavy metals (Cd, Cr, Ni e Pb) contents in the SS presented no danger to the trophic chain in short-time.

Index terms: urban waste, organic fertilizers, *Saccharum*, ratoon fertilization, productivity of sugarcane, soil potential acidity.

## INTRODUÇÃO

As águas servidas são produzidas em maior volume onde existem altas densidades demográfica e

industrial; constituem o principal agente poluidor dos rios, se neles lançadas. Assim, o seu tratamento é uma medida importante para diminuir a poluição dos recursos hídricos. Deste tratamento ocorre a produção de um resíduo sólido, denominado lodo de esgoto (Le). O lodo de esgoto pode ter diferentes disposições finais, dentre os quais o uso agrônômico - e neste caso, é necessário conhecer não só as características do Le, mas também do solo e do vegetal, e o clima do local onde o mesmo será aplicado.

O Le, proveniente de tratamento de esgotos domésticos, com predominância sobre os industriais, tem teores de Cd, Cu, Mo, Ni, Zn, Pb, Mn, Fe, Al, Cr e Hg entre outros elementos, dentro das faixas

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 12 de setembro de 1997.

<sup>2</sup> Eng. Agr., Dr., Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Solos (CNPq), Rua Jardim Botânico, 1024, CEP 22460-000 Rio de Janeiro, RJ. Bolsista do CNPq.

<sup>3</sup> Eng. Agr., Dr., CENA/USP, Av. Centenário 303, Caixa Postal 96, CEP 13400-970 Piracicaba, SP.

<sup>4</sup> Eng. Agr., Dr., IAC, Av. Barão de Itapura 1481, CEP 13001-970 Campinas, SP.

<sup>5</sup> Eng. Agr., Usina Costa Pinto S.A, Av. Dona Lidia, 900/52, CEP 13405-130 Piracicaba, SP.

permitidas para o seu uso agrônomico (Fuller & Warrick, 1985). Entretanto, quando os efluentes industriais predominam no esgoto, — caso do ABC Paulista — o Le obtido, devido a presença de teores de metais pesados acima da faixa permitida, tem restrições para uso agrícola, e neste caso, pode sofrer a sinterização, produzindo um agregado leve, que é utilizado na construção civil, ou pode ser incinerado ou disposto em aterro sanitário (Bettiol et al., 1983).

No Brasil, o Le foi avaliado como fertilizante para as culturas de soja, arroz e milho (Bettiol & Carvalho, 1982), cana-de-açúcar (Marques, 1990; Silva, 1995), além de outras culturas, mostrando que tem possibilidade de aproveitamento para este fim. Berton et al. (1989), cultivando milho, constataram que o Le é fonte de N, P, K, Ca, Mg e Zn. Em outros países, o Le de esgoto tem sido aplicado em solos para reflorestamento (Hegstrom & West, 1989) e em outras culturas.

O Le aumenta a CTC do solo, pela introdução de cargas negativas na porção orgânica e enriquece-o, principalmente em Ca e Mg (Silva, 1995). Berton et al. (1989) constataram que o Le adicionado ao solo agiu como corretivo de acidez, elevando o pH e reduzindo o teor de alumínio trocável.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito do Le sobre a acidez do solo e como fonte de nutrientes para a cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) e sobre os metais pesados, no sistema solo-planta.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em agosto de 1993, em área de soqueira (2ª corte) de cana-de-açúcar (var. RB72-454), localizada no município de Piracicaba, SP. O solo do local pertence ao grande grupo Terra Roxa Estruturada (Rhodic Paleudalf); a análise química das amostras, realizada segundo Raij & Quaggio (1983), revelou, na profundidade de 0-20 cm, os seguintes valores: pH (CaCl<sub>2</sub>) = 5,1; os teores de cátions foram Ca<sup>2+</sup> = 42,8, Mg<sup>2+</sup> = 28, K<sup>+</sup> = 3,0 e H<sup>+</sup>+Al<sup>3+</sup> = 39, expressos em mmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup> de terra; e P-resina = 18 mg.dm<sup>-3</sup>.

Os tratamentos foram constituídos pela combinação de três doses de Le (0, 15 e 30 kg.ha<sup>-1</sup>, peso úmido), sem ou com complementação de NP, NK, PK e NPK, nas doses de 80-60-120 kg.ha<sup>-1</sup> de N (sulfato de amônio), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (superfosfato triplo) e K<sub>2</sub>O (cloreto de potássio), respec-

tivamente. O Le foi aplicado no fundo de um sulco com 15 cm de profundidade, distando este 40 cm da linha de cana-de-açúcar. Cada parcela experimental foi constituída por cinco linhas de 6 m, com espaçamento de 1,10 m. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com 15 tratamentos e três repetições.

O Le, coletado na estação de tratamento de águas servidas de Barueri, SP, com 645 g.kg<sup>-1</sup> de água, pH = 10,2, condutividade elétrica = 5,8 mS.cm<sup>-1</sup>, foi seco a 65°C e analisado pela técnica de ICP. Obtiveram-se os seguintes valores, expressos em g.kg<sup>-1</sup>: C=70; N=22; P=10; K=1,5; Ca=12,5; Mg=3,5; e S=10. Os teores de micronutrientes e de metais pesados, dados em mg.kg<sup>-1</sup>, são: Cd = 25, Ni = 415, Cu = 840, Cr = 785, Pb = 220, Mn = 355, Zn = 1950, Fe = 42000. O C foi determinado após incineração em mufla, segundo método descrito em Bataglia et al. (1983). O N foi determinado por destilação, após digestão sulfúrica do Le e os demais elementos, após digestão, via úmida, com água régia (HCl + HNO<sub>3</sub> : 1+3), potencializada em forno de microondas (Nieuwenhuize et al., 1991), por espectrometria de plasma de emissão atômica.

Amostras compostas de terra foram retiradas, na profundidade de 0-20 cm, por tradagem realizada nas entrelinhas da cultura da cana, onde, 114 e 400 dias antes, havia sido aplicado o Le. Essas amostras foram secas ao ar e à sombra, peneiradas em malha de 0,5 mm e acondicionadas em caixas de papelão. Para fins de avaliação da fertilidade, foram feitas as análises químicas de rotina (Raij & Quaggio, 1983). O S foi determinado por turbidimetria, após ser extraído por cloreto de cálcio (1,5 g.kg<sup>-1</sup>) e os elementos Cr, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb e Zn foram extraídos pela solução de DTPA pH 7,3 (Lindsay & Norvell, 1978) e determinados por espectrometria de plasma de emissão atômica. O B, extraído por solução de cloreto de bário em forno de microondas, foi determinado colorimetricamente com curcumina (Instituto Agrônomico de Campinas, 1994).

Amostras de folhas foram coletadas aos 114 dias após a aplicação do Le, nas três linhas centrais da parcela, colhendo-se as folhas +3 de acordo com método de Kuijpel (Orlando Filho, 1983). Foram separados os 20 cm da região mediana da lâmina e secados em estufa (65°C), e a seguir foram moídas, passadas em malha de 40 mesh. As amostras foram submetidas à digestão nítrico-perclórica (Sarruge & Haag, 1974), para determinação em espectrômetro de plasma de emissão, de nutrientes e de metais pesados.

Na colheita do experimento foram feitas as pesagens para obter a produção de colmos por ha, representada por TCH. Colmos de cana foram amostrados nas três linhas

centrais de cada parcela e estes foram submetidos aos mesmos procedimentos na preparação das amostras e as mesmas análises químicas realizadas nas amostras de folhas. Os colmos amostrados foram desintegrados para a extração do caldo por prensa hidráulica (Tanimoto, 1964). Foram obtidos o bagaço fibroso e o caldo, e neste foram feitas as determinações dos parâmetros tecnológicos (Brix, pol, açúcares redutores e fibra), conforme definido em Schneider (1979), e por cálculo obteve-se o açúcar teórico recuperável (ATR). Com estes resultados foi possível calcular as produtividades de pol (sacarose aparente) e de açúcar teórico recuperável na indústria (TAH), considerando-se a produtividade agrícola; foram expressas em toneladas de açúcar por hectare.

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância. Para contraste entre médias, empregou-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Quando o fator analisado era dose de Le, utilizou-se modelo polinomial de 1ª grau. Adotou-se a técnica de "stepwise", usando-se o programa SANEST, versão 3.0, para selecionar os parâmetros do solo e da planta que explicariam as alterações nas produtividades de biomassa e de açúcar.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Fertilidade do solo

A análise química das amostras de terra, coletadas antes da aplicação do Le, revelou tratar-se de solo com acidez média, altos teores trocáveis de  $Mg^{2+}$  e  $K^+$ , e médio teor solúvel de P (Rajj et al., 1985). O Le aplicado ao solo neutralizou parte da acidez potencial, provocando aumento do seu pH. A CTC, a soma de bases (SB) (Tabela 1), e a saturação em bases tiveram seus valores aumentados com o aumento da dose de Le. A ação corretiva da acidez do Le foi bastante limitada, pois houve necessidade de 10 t.ha<sup>-1</sup> de Le para aumentar 0,1 unidade de pH ou 7,7 mmol.c.dm<sup>-3</sup> na SB, ou, ainda, menos de 3% da saturação por bases (V).

Pela análise química do solo, fica evidente que o resíduo atuou como fonte de P, S, Ca, Cu, B e Zn, pois aumentou os teores destes nutrientes no solo (Tabela 1). Quanto ao efeito de Le no teor de P no solo, verificou-se que de teor baixo no tratamento sem Le subiu para teor médio (Rajj et al., 1985), quando se aplicou 30 t.ha<sup>-1</sup> do resíduo (Tabela 1), pois houve a adição de 107 kg.ha<sup>-1</sup> de P. O teor de enxofre do solo, originalmente baixo, passou para

teor médio com a aplicação de 15 t.ha<sup>-1</sup>, de acordo com o índice preconizado por Kliemann (1987), que encontrou o valor crítico no solo igual a 19 mg.kg<sup>-1</sup> de terra para a cultura de milho. A quantidade de S adicionada com 15 t.ha<sup>-1</sup> de Le foi de 53 kg.ha<sup>-1</sup>. Foram adicionados ao solo 133 kg.ha<sup>-1</sup> de Ca ao aplicar 30 t.ha<sup>-1</sup> do resíduo, o que explica o aumento do seu teor no solo. Apesar de serem ponderáveis as quantidades de Cu, Zn, Fe e Mn adicionadas ao solo pelo Le (Tabela 2), os aumentos ocorridos nos seus teores no solo foram desprezíveis (Tabela 1), se considerada a amplitude da faixa de teores disponíveis encontrados em solos brasileiros, apresentados por Malavolta (1986) ou as quantidades máximas aceitáveis no solo (Tabela 2).

Com o Le de esgoto rico em Fe (42 g.kg<sup>-1</sup>), aplicando-se 30 t.ha<sup>-1</sup> deste, foram adicionados ao solo 530 kg.ha<sup>-1</sup> do metal. Este Fe adicionado deve estar numa forma não extraível, porque o seu teor no solo, aos 144 dias após a aplicação do resíduo, era de 35 mg.dm<sup>-3</sup>, dentro de sua faixa de ocorrência nos solos brasileiros (Malavolta, 1986). A quantidade de 4,1 kg.ha<sup>-1</sup> de Mn, adicionada ao solo através da maior dose de Le, foi insuficiente para provocar alterações no seu teor no solo, que era de 250 mg.kg<sup>-1</sup>. Precisa ser considerado ainda que ao se aumentar o pH do solo — o que ocorreu com a aplicação do Le —, diminuiu-se a disponibilidade de Mn e de Fe no solo.

A aplicação de Le no solo provocou decréscimos nos teores trocáveis de Mg e K do solo, sem, entretanto, mudar de classes de teores estabelecidas em Rajj et al. (1985).

A complementação do Le com adubos contendo NPK não alterou o teor solúvel de P e aumentou o teor de K do solo.

### Metais pesados no sistema solo-planta

No Le, o teor de Ni (415 mg.kg<sup>-1</sup>) encontrava-se bem próximo do limite máximo permitido pela United States Agency of Protection Environment (1993), que é de 420 mg.kg<sup>-1</sup>. Esta legislação, elaborada pela Agência Americana de Proteção ao Meio Ambiente, fornece especificações de resíduos que podem ter uso agrícola. Apesar de ser alto o teor de Ni no Le usado no solo, o seu teor extraído passou

**TABELA 1. Efeito do lodo de esgoto na fertilidade e nos teores de metais pesados do solo, amostrado 114 dias após a aplicação do resíduo.**

Variável	Modelo Y=a+bX	R <sup>2</sup> x 100	Valores observados		
			0 t.ha <sup>-1</sup>	15 t.ha <sup>-1</sup>	30 t.ha <sup>-1</sup>
pH (CaCl <sub>2</sub> )	Y=5,3+0,01X	81**	5,3	5,4	5,7
H+Al, mmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup>	Y=34-0,1X	98**	34	32	29
SB <sup>1</sup> , mmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup>	Y=98+0,6X	83**	102	105	121
CTC, mmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup>	Y=128+0,5X	76**	131	135	150
Ca, mmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup>	Y=81+0,9X	82**	82	113	119
Mg, mmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup>	Y=27-0,4X	78**	26	18	17
K, mmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup>	Y=2,9-0,01X	99**	2,9	2,7	2,4
B, mg.dm <sup>-3</sup>	Y=0,17+0,002X	83**	0,15	0,18	0,20
Cu, mg.dm <sup>-3</sup>	Y=2,3+0,04X	95**	2,3	2,6	3,2
Cr, mg.dm <sup>-3</sup>	Y=0,13+0,002X	88**	0,13	0,16	0,19
Ni, mg.dm <sup>-3</sup>	Y=0,60+0,016X	99**	0,54	1,05	1,20
Pb, mg.dm <sup>-3</sup>	Y=0,86+0,012X	98**	0,86	1,14	1,31
P, mg.dm <sup>-3</sup>	Y=11+0,38X	92**	11	15	24
Zn, mg.dm <sup>-3</sup>	Y=1,2+0,05X	87**	1,2	2,3	2,6
S, mg.kg <sup>-1</sup>	Y=16+0,6X	84**	13	28	34

<sup>1</sup> Soma de bases = Ca + Mg + K + Na.

\*\* Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

**TABELA 2. Metais pesados adicionados ao solo pela aplicação de 30 t.ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto e seus teores no solo mostrado aos 144 e 400 dias após a aplicação (dap) do lodo de esgoto, e quantidades máximas aceitáveis no solo.**

Elemento	Conteúdo no Le seco (mg.kg <sup>-1</sup> )	Quantidade aplicada do metal (kg.ha <sup>-1</sup> )	Teor no solo		Quantidade máxima aceitável no solo	
			144 dap ----- (mg.dm <sup>3</sup> )-----	400 dap	Cottenie <sup>1</sup> ----- (mg.kg <sup>-1</sup> )-----	Pepin <sup>2</sup>
Cd	25	0,3	0,17	0,07	3	3 - 8
Ni	415	5	1,2	1,0	50	100
Cu	840	9	2,8	3,1	50	60 - 125
Cr	785	7	0,19	0,09	100	75 - 100
Pb	220	3	1,34	0,50	200	100 - 400
Mn	355	4	252	290	400	1500 - 3000
Zn	1950	21	2,6	2,9	300	70 - 400
Fe	42000	530	38	46	-	-

<sup>1</sup> Cottenie (1981).

<sup>2</sup> Pepin & Coleman (1984).

de 0,6 para 1,2 mg.dm<sup>-3</sup> (Tabela 1), teor que não representa contaminação ambiental, pois está dentro da faixa de variação dos teores médios encontrados nos solos (Rovers et al., 1983).

Entretanto, a aplicação anual prolongada de Le ao solo pode se tornar restritiva ao sistema de produção agrícola pelo enriquecimento de metais pesados no ambiente, como foi discutido por Bell

et al.(1991). Warkentin (1992) reforçaram a necessidade de realização de pesquisas de contaminação ambiental, considerando um maior intervalo de tempo, acima de 50 a 100 anos. Tem-se notado que a solubilidade dos metais no solo reduzem drasticamente com o decorrer do tempo (Brams & Anthony, 1988). Em particular no tocante ao Le, com o tempo a adsorção de metais no solo deve ser mais eviden-

te, pelo fato de o material ter um pH básico e possuir concentração elevada de matéria orgânica e de óxidos de Fe (Bell et al., 1991).

Além do Ni, também houve pequenos aumentos nos teores de Cr e Pb do solo (Tabela 1), e, ainda, de Cd, que passou de 0,13 para 0,17 mg.dm<sup>-3</sup> quando a maior dose de Le foi empregada, apesar de a regressão linear não ser significativa estatisticamente. Os teores destes elementos no solo são muito menores que os teores máximos permitidos, conforme dados de Pepin & Coleman (1984) mostrados na Tabela 2. Tomando os menores teores de Ni, Cr, Pb e Cd, citados pelos autores, e os maiores valores determinados no solo após aplicação do Le, calculou-se que os primeiros são 83, 394, 75 e 19 vezes maiores que os segundos. Estes valores indicam que o uso de até 30 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> de Le, com concentrações de metais pesados iguais ao usado no presente trabalho, não deve causar problemas de contaminação do solo a curto prazo com teores de metais pesados considerados deletérios, mesmo se adicionado, na mesma área, consecutivamente por 19 anos. Porém, o Cd pode tornar-se um elemento problema, pelo fato de ter maior mobilidade no ambiente e ser mais biodisponível do que o Cr, Cu e Pb (Tyler et al., 1989).

Em geral, os teores dos metais pesados no solo decresceram, com o decorrer do tempo (Tabela 2), nas amostras coletadas aos 144 e 400 dias após a aplicação do resíduo, o que está de acordo com os resultados de solubilidade dos metais no solo no tempo, obtidos por Brams & Anthony (1988).

Sabe-se, também, que os metais pesados não são absorvidos pelas plantas proporcionalmente aos seus teores do solo (Beckett, 1991). Acrescente-se, ainda, o fato de não ter havido correlação entre os teores de metais pesados do solo e das folhas, nas amostras colhidas 114 dias após aplicação do Le. Todavia, a aplicação muito prolongada de Le pode causar o acúmulo de Cd na cadeia trófica e danificar a fauna do ambiente (Hegstrom & West, 1989). O que poderia preocupar é a exportação de Ni pela parte aérea da cana-de-açúcar, mostrada na Tabela 3. Apesar da aplicação de 30 t.ha<sup>-1</sup> de Le ter aumentado de 57% a quantidade de Ni exportada pela parte aérea da cana-de-açúcar, em comparação com os valores da testemunha, são apenas 8,8 g.ha<sup>-1</sup> de Ni a mais, valor que não indica qualquer perigo à cadeia trófica

a médio prazo, e é 568 vezes menor que a quantidade adicionada ao solo.

### Teor foliar dos nutrientes e produtividade e qualidade tecnológica dos colmos

Os aumentos dos teores de P e S do solo, detectados pela análise química de terra, motivaram pequenos aumentos nos teores destes mesmos nutrientes nas folhas da cana-de-açúcar. O teor de P na folha do tratamento-testemunha foi igual a 0,9 g.kg<sup>-1</sup>, e quando se empregaram 30 t.ha<sup>-1</sup> de Le, o teor encontrado nas folhas foi de 1,1 g.kg<sup>-1</sup>. Quanto ao S, nos mesmos tratamentos, seus teores foliares foram 1,6 e 1,8 g.kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Os teores foliares críticos destes nutrientes são: P = 0,12 g.kg<sup>-1</sup> (Silva & Basso, 1993) e S = 1,3 g.kg<sup>-1</sup> (Orlando Filho, 1983).

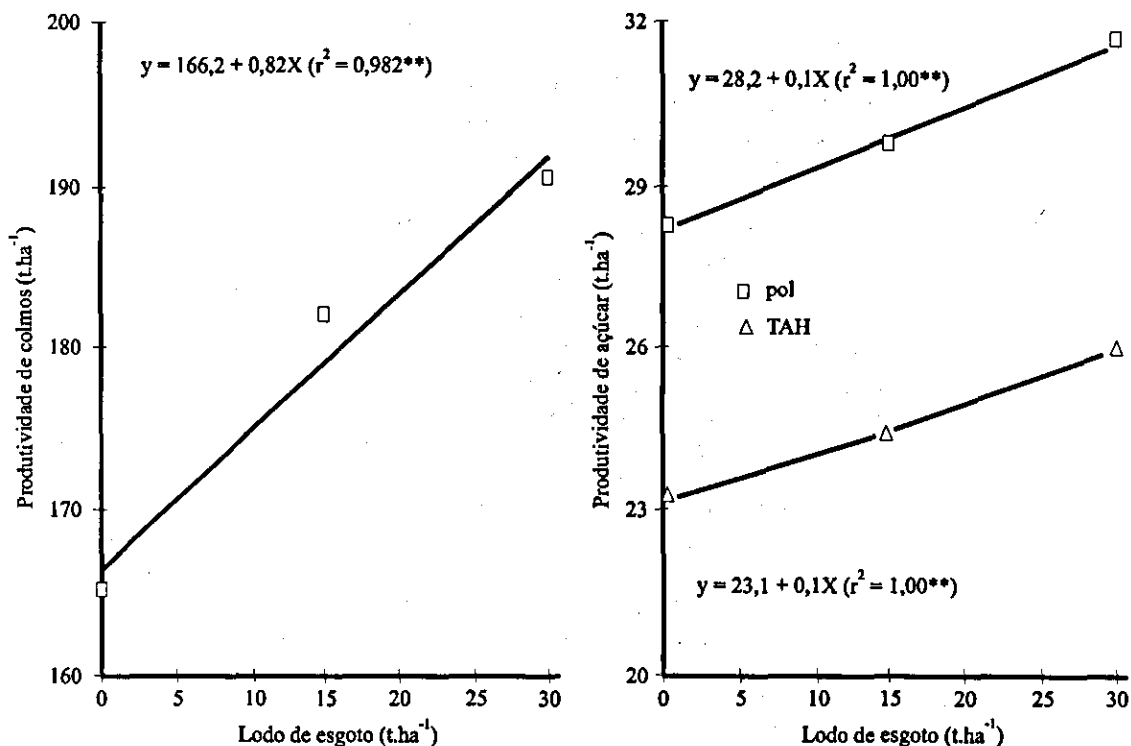
Com referência ao estado nutricional da cana-de-açúcar, constatou-se que, além do P e do S, os teores foliares de N, Ca, Cu e Zn estavam abaixo dos níveis críticos. Os teores médios nas folhas +3 colhidas 144 dias após aplicação do Le, de todos os tratamentos considerados em conjunto, e os níveis foliares críticos mencionados na literatura - estes entre parênteses, expressos em g.kg<sup>-1</sup> -, são: N = 8,5 (10,0; Humbert, 1968), Ca = 1,7 (2,0; El Wali & Gascho, 1984), Mg = 1,6 (1,0; Orlando Filho, 1983), K = 0,9 (0,6; Orlando Filho, 1983). Os teores foliares dos micronutrientes, expressos em mg.kg<sup>-1</sup>, foram: B = 9,6 (6,0; Orlando Filho, 1983), Cu = 2,3 (4; El Wali & Gascho, 1984), Fe = 23 (5 a 10; El Wali & Gascho, 1984), Mn = 30 (>10; Humbert, 1968) e Zn = 7 (10; Trani et al., 1983).

Houve ganho de produtividade de biomassa de colmos da soqueira, graças ao uso do Le, sem prejuízo de sua qualidade tecnológica medida pelo Brix, pol (sacarose aparente) e ATR (açúcar recuperável na indústria), o que, em consequência, proporcionou aumento da produtividade em açúcar por área (Fig. 1). Estes aumentos podem ser explicados sob dois aspectos: o primeiro, refere-se à alteração da fertilidade do solo provocada pelo Le, que agiu como corretivo da acidez e como fonte de nutrientes. Aliás, pelo procedimento "stepwise" verificou-se que as variáveis do solo mais importantes para explicar os aumentos de produtividade de colmos e de

**TABELA 3.** Exportação de nutrientes e de Ni na colheita da parte aérea da cana-de-açúcar, e quantidades adicionadas pelo lodo de esgoto.

Variável	Modelo $Y=a+bX$	$R^2 \times 100$	Quantidade adicionada		Valores observados		
			15 t.ha <sup>-1</sup>	30 t.ha <sup>-1</sup>	0 t.ha <sup>-1</sup>	15 t.ha <sup>-1</sup>	30 t.ha <sup>-1</sup>
Ca, kg.ha <sup>-1</sup>	$Y=81+1,0X$	82*	67	134	85	88	114
Cu, g.ha <sup>-1</sup>	$Y=172+2,0X$	79*	4,5	9	179	183	240
K, kg.ha <sup>-1</sup>	$Y=305+2,3X$	79*	8	16	312	318	388
Mg, kg.ha <sup>-1</sup>	$Y=43+0,03X$	75*	15	32	42	43	53
Ni, g.ha <sup>-1</sup>	$Y=15+0,2X$	94*	2,5	5	15	18	24
P, kg.ha <sup>-1</sup>	$Y=3,7+0,03X$	73*	53	106	38	39	47
S, kg.ha <sup>-1</sup>	$Y=104+1,2X$	99*	53	106	103	121	138

\* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.



**FIG. 1.** Efeitos das doses de lodo de esgoto aplicado ao solo sobre as produtividades de colmos e de açúcar por hectare, medida em termos de sacarose aparente (pol) e em açúcar teórico recuperável na indústria (TAH).

açúcar foram os seguintes: H+Al, pH, P, S, Ca, Cu, Zn e B; o segundo aspecto é que o Le, causando alterações no solo, possibilitou uma nutrição mais adequada da cana-de-açúcar, pois, como foi dito, ele aumentou os teores foliares de P e S. Os teores foliares destes dois nutrientes, juntamente com os teores foliares de Ca, Cu e Zn, mostraram ser os mais importantes para explicar os ganhos de produtividades de colmo e de açúcar.

#### Exportação de elementos químicos pela parte aérea da cana-de-açúcar

A adubação com Le causou aumentos na exportação de P, S, Ca, Cu, K, Mg e Ni, pela parte aérea da cana-de-açúcar (Tabela 3). Comparando-se as maiores quantidades de nutrientes exportados com as quantidades adicionadas por 30 t.ha<sup>-1</sup> de Le, constatou-se que o balanço foi positivo em relação aos nutrientes P, Ca, Cu e Mg, mas foi negativo no tocante ao K e S, o que indica, neste caso, a necessidade de complementação do Le com estes dois nutrientes quando se destinar à adubação.

#### CONCLUSÕES

1. O lodo de esgoto tem ação corretiva da acidez do solo parcial e fornece nutrientes para a cana-de-açúcar, principalmente P, S, Ca, Cu e Zn.
2. A aplicação de Le leva a aumentos de produtividade agrícola e de açúcar.
3. Os metais pesados contidos em 30 t.ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto não apresentam problemas de contaminação do solo.

#### REFERÊNCIAS

- BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.L.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. *Métodos de análise química de plantas*. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 48p. (IAC. Boletim técnico, 78).
- BECKETT, P.H.T. Critical tissue concentrations as indicators of toxicity. *Suelos Ecuatoriales*, Bogotá, v.21, p.39-44, 1991.
- BELL, P.F.; JAMES, B.R.; CHANEY, R.L. Heavy metal extractability in long-term sewage sludge and metal salt-amended soils. *Journal of Environmental Quality*, Madison, v.20, p.481-486, 1991.
- BERTON, R.S.; CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S. Absorção de nutrientes pelo milho em resposta à adição de lodo de esgoto a cinco solos paulistas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.13, p.187-192, 1989.
- BETTIOL, W.; CARVALHO, P.C.T. Utilização de lodo de esgoto primário e fertilizantes organo-mineral IPT na cultura de milho. *Fertilizantes*, São Paulo, v.4, p.14-15, 1982.
- BETTIOL, W.; CARVALHO, P.C.T.; FRANCO, B.J.D.C. Utilização do lodo de esgoto como fertilizante. *O Solo*, Piracicaba, v.75, p.44-54, 1983.
- BRAMS, E.; ANTHONY, W. Residual cadmium in a soil profile and accumulation in wheat grain. *Plant and Soil*, Dordrecht, v.109, p.3-8, 1988.
- COTTENIE, A. *Sludge treatment and disposal in relation to heavy metals*. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEAVY METALS IN THE ENVIRONMENT, 1., 1981, Edinburg. *Proceedings...* Edinburg: CEP Consultants, 1981. p.167-175.
- EL WALI, A.M.O.; GASCHO, G.J. Fertilization of sugarcane using critical nutrient levels. *Sugar Journal*, New York, v.46, n.80, p.9-11, 1984.
- FULLER, W.H.; WARRICK, A.W. *Soils in waste treatment and utilization*. Boca Raton: CRC Press, 1985. v.1, 268p.
- HEGSTROM, L.J.; WEST, S.D. Heavy metal accumulation in small mammals following sewage sludge application to forests. *Journal of Environmental Quality*, Madison, v.18, p.345-349, 1989.
- HUMBERT, R.P. *The growing of sugarcane*. New York: Elsevier, 1968. 779p.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. Extração de boro pelo cloreto de bário-microondas. In: INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. *Micronutrientes em solos: métodos analíticos adotados pelo IAC*. Campinas: IAC/FAPESP, 1994. p.25-35.
- KLIEMANN, H.J. *Contribuição ao estudo da disponibilidade de enxofre em solos brasileiros*. Piracicaba: ESALQ-USP, 1987. 231p. Tese de Doutorado.
- LINDSAY, W.L.; NORVELL, W.A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and cooper.

- Soil Science Society of America. *Journal*, Madison, v.42, p.421-428, 1978.
- MALAVOLTA, E. *Micronutrientes na adubação*. Paulínia: Nutriplante, 1986. 70p.
- MARQUES, M.O. *Efeitos da aplicação de lodo de esgoto na produtividade e qualidade da cana-de-açúcar*. Piracicaba: USP-ESALQ, 1990. 168p. Tese de Doutorado.
- NIEUWENHUIZE, J.; POLEY-VOS, C.H.; AKKER, Van den A.; DELFT, Van A. Comparison of microwave and convention extraction techniques for the determination of metals in soil, sediment and sludge samples by atomic spectrometry. *Analyst*, Cambridge, v.116, p.347-351, 1991.
- ORLANDO FILHO, J. *Nutrição e adubação da cana de açúcar no Brasil*. Rio de Janeiro: IAA/PLANALSUCAR, 1983. 368p. (Coleção Planalsucar, 2).
- PEPIN, R.G.; COLEMAN, P. Paper mill sludge and ash as soil conditioner. *BioCycle*, Emmaus, v.25, p.52-55, 1984.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. *Métodos de análise de solos para fins de fertilidade*. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 31p. (IAC. Boletim técnico, 81)
- RAIJ, B. van; SILVA, N.M.; BATAGLIA, O.C.; QUAGGIO, J.A.; HIROCE, R.; CATARELLA, H.; BELLINAZZI JUNIOR, R.; DECHEN, A.R.; TRANI, P.E. *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. Campinas: Instituto Agrônomo, 1985. 107p. (IAC. Boletim técnico, 100)
- ROVERS, H.; CAMARGO, O.C.; VALADARES, J.M.A.S. Níquel total e solúvel em DTPA em solos no Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.7, p.212-220, 1983.
- SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P. *Análises químicas em plantas*. Piracicaba: USP-ESALQ, 1974. 56p.
- SCHNEIDER, F. (Ed.). *Sugar analysis methods*. Peterborough: ICUMSA, 1979. 256p.
- SILVA, F.C. da. *Uso agrônomo de lodo de esgoto: efeitos em fertilidade do solo e qualidade da cana-de-açúcar*. Piracicaba: USP-ESALQ, 1995. 159p. Tese de Doutorado.
- SILVA, F.C. da; BASSO, L.C. Avaliação da atividade *in vivo* da fosfatase ácida da folha na diagnose da nutrição fosfórica em cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.17, p.371-375, 1993.
- TANIMOTO, T. The press method of cane analysis. *Hawaiian Planters Record*, Aiea, v.51, n.2, p.133-150, 1964.
- TRANI, P.E.; HIROCE, R.; BATAGLIA, O.C. *Análise foliar: amostragem e interpretação*. Campinas: Fund. Cargill, 1983. 18p.
- TYLER, G.; PAHLSSON, M.B.; BAATH, B.E.; TRANVIK, L. Heavy-metal ecology of terrestrial plants, microorganisms and invertebrates. A review. *Water, Air, and Soil Pollution*, Dordrecht, v.47, p.189-215, 1989.
- UNITED STATES AGENCY OF PROTECTION ENVIRONMENT. Standards for the use or disposal of sewage sludge. *Federal Register*, Washington, D.C., v.58, n.32, p.9248-9415, 1993.
- WARKENTIN, B.P. Soil science for environmental quality-how do we know what we know? *Journal of Environmental Quality*, Madison, v.21, p.163-166, 1992.