



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbccs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Brasil

Chiba, Marcio Koiti; Mattiazzo, Maria Emilia; Carvalho Oliveira, Fernando
CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR EM ARGISOLO TRATADO COM LODO DE ESGOTO. I -
DISPONIBILIDADE DE NITROGÊNIO NO SOLO E COMPONENTES DE PRODUÇÃO

Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 32, núm. 2, 2008, pp. 643-652

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180214228019>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

SEÇÃO IV - FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR EM ARGISSOLO TRATADO COM LODO DE ESGOTO. I - DISPONIBILIDADE DE NITROGÊNIO NO SOLO E COMPONENTES DE PRODUÇÃO⁽¹⁾

**Marcio Koiti Chiba⁽²⁾, Maria Emilia Mattiazzo⁽³⁾ & Fernando
Carvalho Oliveira⁽³⁾**

RESUMO

Adotando-se os devidos critérios agronômicos e sanitários, o lodo de esgoto pode ser utilizado como fonte de nutrientes, especialmente N, em solos agrícolas, revertendo em benefícios econômicos e ambientais. Todavia, a estimativa da dose de lodo a ser aplicada é resultante de ensaios de mineralização do N sob condições ótimas de temperatura e umidade que, em parte dos casos, não são encontradas no campo. Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi verificar a necessidade de se aplicar N proveniente de uma fonte mineral, prontamente solúvel, ao lodo de esgoto na cultura da cana-de-açúcar em soca. O experimento foi instalado no campo, em um Argissolo Vermelho distrófico cultivado com a variedade RB855536. O ensaio foi realizado durante dois períodos (outubro de 2002 a agosto de 2003 – ano agrícola 2003/04 e outubro de 2003 a outubro de 2004 – ano agrícola 2004/05). Os tratamentos testados foram oito: (a) controle; (b) fertilização mineral (120 kg ha⁻¹ N + 150 kg ha⁻¹ K₂O); (c) LE + 0N, incorporado no solo após a aplicação (ISA); (d) LE + 0N, incorporado no solo 60 dias após a aplicação (IS60A); (e) LE + 60 kg ha⁻¹ N (ISA); (f) LE + 60 kg ha⁻¹ N (IS60A); (g) LE + 120 kg ha⁻¹ N (ISA); e (h) LE + 120 kg ha⁻¹ N (IS60A). O lodo de esgoto foi resultante de tratamento biológico e aeróbio, e a dose aplicada foi calculada em função da mineralização do N e suficiente para fornecer 120 kg ha⁻¹ de N. A aplicação de LE resultou em aumento significativo no teor de N orgânico do solo nos dois períodos estudados, porém apenas na camada de 0–20 cm. Com a adição do fertilizante nitrogenado mineral, houve aumento nos teores de N inorgânico (N-NO₃⁻ + N-NH₄⁺) na camada de 20–40 cm no ano-agrícola

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor apresentada à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP. Realizada com auxílio da CAPES. Recebido para publicação em outubro 2006 e aprovado em novembro 2007.

⁽²⁾ Pesquisador do Centro de Solos e Recursos Ambientais do IAC. Av. Barão de Itapura, 1481 CEP 13020-902 Campinas (SP). E-mail: mkchiba@iac.sp.gov.br

⁽³⁾ Engenheiro-Agrônomo, Dr., Biossolo – Agricultura e Ambiente, Rua Campos Sales 1818, sala 24. CEP 13416-310 Piracicaba (SP). E-mail: mila@biossolo.com.br; fernando@biossolo.com.br

2003/04 e nas camadas de 0–20 e 20–40 cm em 2004/05. A aplicação de LE resultou num incremento na produção de colmos da ordem de 27 % nos dois anos agrícolas em comparação aos tratamentos que não receberam o resíduo. A quantidade de sacarose da cana-de-açúcar, expressa em termos de açúcar total recuperável (ATR), foi significativamente maior nos tratamentos com lodo de esgoto no ano agrícola 2004/05; neste caso, não houve diferença na adição de N mineral nas doses de 60 e 120 kg ha⁻¹.

Termos de indexação: biossólido, nitrato, amônio, soqueira.

SUMMARY: SUGARCANE CULTIVATION IN A SEWAGE-SLUDGE TREATED ULTISOL. I - SOIL NITROGEN AVAILABILITY AND PLANT YIELD

Sewage sludge (SS) may be used as a nutrient source in agricultural soils, resulting in environmental and economical benefits, provided that specific technical criteria are applied. Unlike field conditions, residue application rates are estimated based on N mineralization trials under optimum temperature and humidity conditions. The objective of this study was to verify whether it is necessary an addition of mineral N (0, 60 and 120 kg ha⁻¹ N) to sewage-sludge (14 and 16 t ha⁻¹, dry weight) applied to sugarcane ratoon. Sugarcane (RB855536) was cultivated under field conditions on an Ultisol. The experiment was evaluated twice (from October 2002 to August 2003 - 2003/2004 growing season and October 2003 to October 2004 - 2004/05 growing season). Eight treatments were tested: (a) control; (b) mineral fertilization (120 kg ha⁻¹ N + 150 kg ha⁻¹ K₂O); (c) LE + 0N, incorporated into soil soon after application (ISA); (d) LE + 0N, incorporated into soil 60 days after application (IS60A); (e) LE + 60 kg ha⁻¹ N (ISA); (f) LE + 60 kg ha⁻¹ N (IS60A); (g) LE + 120 kg ha⁻¹ N (ISA); and (h) LE + 120 kg ha⁻¹ N (IS60A). The SS was obtained by an aerobic-biological based process and application rates were calculated considering N mineralization to supply 120 kg ha⁻¹ N. SS application resulted in organic nitrogen increments in the two study periods in the 0–20 cm layer only. An increase in soil inorganic N ($N-NO_3^- + N-NH_4^+$) was observed with N fertilization in the 20–40 cm layer in 2003/04 and in 0–20 and 20–40 cm in 2004/05. SS application resulted in a higher stalk production of around 27 %, compared to the treatments without SS. The sugarcane sucrose content expressed as recoverable total sugar (RTS) was statistically greater due to SS application in the 2004/05 growing season. In this case, no differences were observed between the addition of 60 or 120 kg ha⁻¹ mineral N.

Index terms: biosolid, nitrate, ammonium, sugarcane ratoon.

INTRODUÇÃO

A aplicação de lodo de esgoto (LE) em solos agrícolas como fonte de resíduo orgânico e nutrientes é uma prática racional que objetiva devolver ao sistema solo-planta elementos químicos que foram exportados para os centros urbanos junto com as colheitas. Dentre eles destaca-se o N, tanto em razão da sua concentração no LE quanto pela sua importância para a nutrição de plantas. No Estado de São Paulo, a utilização do LE em solos agrícolas segue uma legislação estabelecida na norma técnica P4.230 (CETESB, 1999), na qual os as propriedades que podem ser consideradas para o cálculo da dose a ser aplicada são: aporte de metais pesados, alteração do pH do solo e aporte de N, sendo utilizado o que resultar na menor

dose. Dados compilados de trabalhos publicados no Brasil evidenciam que, de modo geral, a menor dose de LE é obtida quando o N é utilizado como propriedade de cálculo, levando-se em consideração o teor deste elemento no resíduo e o requerimento deste pelas plantas (Anjos & Mattiazzo, 2000; Oliveira & Mattiazzo, 2001; Oliveira et al., 2001; Nascimento et al., 2004; Galdos et al., 2004). Podem ser encontradas diferentes respostas à aplicação do LE como fonte de N. Cox (1995) relatou que o fornecimento de todo o N requerido, via LE, para espécies de crescimento rápido e alta taxa de absorção do nutriente foi insuficiente para promover o crescimento adequado das plantas. Corrêa et al. (2005), entretanto, verificaram que o LE foi tão eficiente quanto o adubo mineral no suprimento de N para azevém cultivado em vasos.

Vieira & Cardoso (2003) verificaram que a aplicação de LE em dose suficiente para fornecer a necessidade de N do milho resultou em teores de N inorgânico cinco vezes maiores que os observados no tratamento com fertilizante mineral. Oliveira et al. (2001) relataram que a aplicação de até 70 t ha⁻¹ de LE, em dois anos consecutivos, em Latossolo cultivado com cana-de-açúcar resultou em acúmulo de N orgânico na camada até 30 cm de profundidade. Apesar dos estudos já realizados sobre o tema, ainda persistem algumas dúvidas quanto à necessidade de se aplicar parte do N, em formas prontamente disponíveis às plantas, para garantir o crescimento e o desenvolvimento iniciais da cultura até a mineralização da carga orgânica do resíduo. Isso porque os estudos de mineralização do N são realizados sob condições controladas, e espera-se que sob tais circunstâncias a taxa de mineralização do N (TMN), usada no cálculo da dose de lodo, quando utilizada em campo, não refleita as condições nas quais foi obtida. Nesse contexto, especialmente para a cana-de-açúcar, existe ainda preocupação com relação aos possíveis efeitos deletérios na qualidade agrotecnológica da cultura quando da aplicação de elevadas doses de N. De acordo com Orlando Filho (1983), a aplicação de doses elevadas de N pode prejudicar o rendimento da cana-de-açúcar, pois a planta permaneceria mais tempo em estádio vegetativo, em detrimento do acúmulo de açúcar. No tocante à utilização de lodo de esgoto na cultura da cana-de-açúcar, Silva et al. (1998) verificaram efeitos positivos na percentagem de sacarose (Pol %) com a aplicação de até 30 t ha⁻¹ de lodo de esgoto em base seca.

Para testar a hipótese de que não é necessária a aplicação de fontes minerais de N quando do cultivo de cana-de-açúcar fertilizada com lodo de esgoto, objetivou-se neste trabalho verificar a necessidade de aplicar N em solo tratado com LE e os efeitos dessa prática na absorção do nutriente pela planta e em algumas propriedades agrotecnológicas do caldo.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em uma área de produção comercial de cana-de-açúcar localizada no município de Capivari (SP), sobre um Argissolo Vermelho distrófico (Embrapa, 1999). Convém salientar que a área experimental foi escolhida em razão de a propriedade rural já possuir um projeto de utilização de lodo de esgoto na lavoura canavieira autorizado e licenciado pelos órgãos fiscalizadores. Este estudo contemplou uma área pertencente à propriedade, incluída no projeto supracitado, mas que ainda não havia recebido o resíduo. No momento da aplicação dos tratamentos, a cana-de-açúcar já estava estabelecida na área de estudo há quatro anos (soqueiras de terceiro corte).

Cerca de dois meses antes do início do ensaio foi realizada uma amostragem de solo nas camadas de 0–20 e 20–40 cm de profundidade (Quadro 1).

A precipitação pluvial registrada foi de 982 mm e de 1.345 mm, respectivamente nos períodos compreendidos entre outubro de 2002 e agosto de 2003 e entre outubro de 2003 e outubro de 2004 (CIIAGRO, 2004) (Figura 1).

O lodo de esgoto utilizado foi obtido na Companhia de Saneamento de Jundiaí/SP e produzido a partir de um sistema de tratamento biológico e aeróbio. Após uma fase de degradação aeróbia, o efluente é estabilizado em lagoas de decantação por até 12 meses, resultando num lodo com 2 % de sólidos. Na sequência, o lodo foi tratado com polímeros inorgânicos, centrifugado e seco ao ar por 120 dias com revolvimento constante das pilhas, gerando um material com cerca de 40 % de sólidos e redução significativa de agentes patogênicos (Quadro 2).

A dose de lodo a ser aplicada foi estabelecida em função do conteúdo total de N, da taxa de mineralização

Quadro 1. Atributos químicos⁽¹⁾ e físicos⁽²⁾ do solo utilizado no experimento

Profundidade	pH CaCl ₂	C org	P _{resina}	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	SB	CTC	V
cm		g kg ⁻¹	mg dm ⁻³		mmol _c dm ⁻³						%
0–20	4,7	12,2	29	0,8	25	10	2	42	36	78	46
20–40	4,5	12,2	13	0,3	18	9	4	47	27	74	37
	Argila	Silte	Areia		Fe ₂ O ₃		Al ₂ O ₃		SiO ₂		
				g kg ⁻¹							
0–20	381	186	433		37,2		12,2		180,0		
20–40	378	206	416		43,0		134,0		92,0		

⁽¹⁾ Determinados conforme Raij et al. (2001). ⁽²⁾ Determinados conforme Camargo et al. (1986). A análise granulométrica considerou os seguintes tamanhos das frações: 2 mm ≥ areia > 0,05 mm ≥ silte ≥ 0,002 mm ≥ argila.

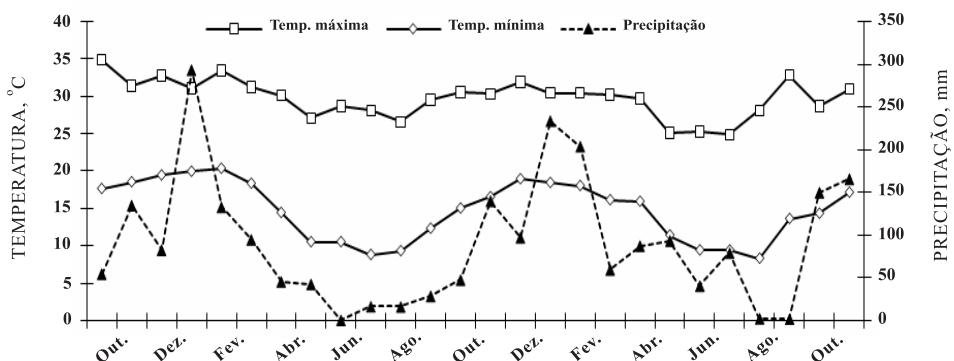


Figura 1. Distribuição de chuva e temperatura durante o período experimental.

Quadro 2. Alguns atributos do lodo de esgoto utilizado no cultivo de cana-de-açúcar. Valores dos elementos e de pH com base na matéria seca

Atributo ⁽¹⁾	2002/03	2003/04
Umidade a 65 °C, g kg ⁻¹	722	794
N total, g kg ⁻¹	29,8	26,9
N inorgânico, g kg ⁻¹	0,69	0,69
P, g kg ⁻¹	6,9	8,1
K, g kg ⁻¹	2,1	1,1
Ca, g kg ⁻¹	10,3	12,3
Mg, g kg ⁻¹	2,6	1,6
C-orgânico, g kg ⁻¹	341	294
pH H ₂ O	6,2	6,4

do N (TMN) de 28 % estabelecida em ensaio prévio e da recomendação de adubação para a cana-de-açúcar no Estado de São Paulo de 120 kg ha⁻¹ de N (Raij et al., 1997).

As parcelas experimentais constaram de sete linhas de plantas de cana-de-açúcar com 10 m de comprimento, espaçadas por 1,40 m, tendo como área útil as três linhas centrais, descontando-se 1 m em cada extremidade como bordadura. As amostragens de solo e planta foram realizadas dentro da área útil das parcelas. Foram testados oito tratamentos em delineamento de blocos casualizados com quatro repetições, seguindo o esquema fatorial 3 x 2 + 2 (Quadro 3). A incorporação do LE foi realizada em duas épocas – após a aplicação (ISA) – e depois de 60 dias (IS60A), e teve por intuito verificar se a permanência do lodo sobre o solo durante esse período alteraria suas características químicas, notadamente seu teor de N. Todos os tratamentos, à exceção do controle, receberam adubação potássica, considerando que o LE não apresenta teores significativas do nutriente (Quadro 2).

Foram adotadas medidas preventivas para evitar que o lodo fosse carregado por vento, enxurrada, etc. As fontes de N e K foram nitrato de amônio (32 % N) e cloreto de potássio (58 % K₂O), na forma de adubos comerciais.

O experimento foi iniciado em 16/10/2002, com a aplicação de 14 t ha⁻¹ (base seca) de lodo de esgoto e dos fertilizantes, nos tratamentos correspondentes, na entrelinha das plantas. Nos tratamentos 2, 3, 5 e 7 foram aplicados o lodo de esgoto e os adubos nitrogenado e potássico conforme o tratamento. Em seguida, foram incorporados a uma profundidade de aproximadamente 10 cm com cultivador mecânico, na ocasião da realização da tríplice operação (escarificação, adubação e cultivo). Nos tratamentos 4, 6 e 8 foram aplicados o lodo de esgoto e o KCl e, nestes, o nitrato de amônio foi aplicado 60 dias após a aplicação do resíduo,

Quadro 3. Tratamentos utilizados

Tratamento	Componente
T1	Controle (sem adubação)
T2	Fertilização Mineral (120 kg ha ⁻¹ de N + 150 kg ha ⁻¹ de K ₂ O)
T3	LE ⁽¹⁾ ISA + 0 kg ha ⁻¹ de N + 150 kg ha ⁻¹ de K ₂ O
T4	LE _{1S60A} + 0 kg ha ⁻¹ de N + 150 kg ha ⁻¹ de K ₂ O
T5	LE _{1SA} + 60 kg ha ⁻¹ de N + 150 kg ha ⁻¹ de K ₂ O
T6	LE _{1S60A} + 60 kg ha ⁻¹ de N + 150 kg ha ⁻¹ de K ₂ O
T7	LE _{1SA} + 120 kg ha ⁻¹ de N + 150 kg ha ⁻¹ de K ₂ O
T8	LE _{1S60A} + 120 kg ha ⁻¹ de N + 150 kg ha ⁻¹ de K ₂ O

⁽¹⁾ Lodo de esgoto suficiente para fornecer 120 kg ha⁻¹ de N total, considerando a taxa de mineralização do N (TMN) = 28 %. ISA: incorporação do LE imediatamente após aplicação; IS60A: incorporação do LE 60 dias após aplicação.

momento no qual, também houve a incorporação no solo. O primeiro período experimental encerrou-se em 27/8/2003, com a colheita dos colmos e a amostragem de terra. No segundo período experimental, as soqueiras receberam, em 27/10/2003, 16 t ha⁻¹ (base seca) de lodo de esgoto, N e K na mesma dose aplicada em 2002/03. As aplicações de LE, N e K seguiram o mesmo esquema descrito para o ano anterior e o segundo cultivo foi encerrado em 27/10/2004.

A amostragem do solo foi feita após a colheita dos colmos, nas profundidades de 0–20 e 20–40 cm, na qual, de cada parcela, retirou-se uma amostra composta por seis amostras simples, sendo cinco coletadas na entrelinha e uma na linha de cultivo, conforme Mattiazzo (1982). As amostras foram preservadas na temperatura de -20 °C até a extração das formas de N. As extrações e as determinações de N inorgânico e N total foram realizadas conforme método descrito em Raij et al. (2001). A determinação do N nos extratos foi realizada por vapor de arraste em destilador semimicro Kjeldhal. O teor de nitrogênio orgânico (N-org) foi estimado como a diferença entre o teor de N total e N inorgânico.

Para avaliar a nutrição da planta, foram realizadas amostragens foliares aos 4,5 meses após a aplicação dos tratamentos, coletando-se a parte central da folha +1, seguindo sistema de ordenação de Kuijper (Dillewijn, 1952), de 15 plantas por parcela. As amostras (excluindo a nervura central) foram analisadas para determinação da concentração de N, conforme método descrito em Silva (1999).

Para identificar o momento da colheita dos colmos, foi considerado, com indicador, o conteúdo de sacarose aparente (Pol) igual a 16 %. A produção de colmos foi avaliada com o auxílio de um dinamômetro acoplado a um implemento agrícola. Para as análises tecnológicas foram escolhidos, aleatoriamente, seis colmos de cada tratamento. Foram determinados a quantidade de fibras (Fibras %), o teor de açúcares redutores (AR %), sólidos solúveis ("Brix), sacarose aparente (Pol %) e açúcar total recuperável (ATR) (Sturion & Fernandes, 1979; Cesar & Silva, 1993). O teor de N inorgânico no caldo foi determinado, sem a prévia destruição da matéria orgânica, utilizando uma alíquota de 50 mL do caldo *in natura* alcalinizado com 0,2 g MgO e destilado em aparelho semimicro Kjeldhal, conforme método descrito por Beauclair (1994).

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F para estudar os efeitos dos tratamentos: doses de N (N), épocas de incorporação (I) e da interação N x I. Quando o efeito do tratamento foi significativo, efetuou-se o desdobramento de graus de liberdade nos seguintes contrastes ortogonais: Y1 = controle (C) x FM e Y2 = tratamentos sem LE (s/LE) x tratamentos com LE (c/LE). Para estes e para os efeitos das épocas de incorporação, a significância do teste F a 5 % foi utilizada para indicar a diferença entre as médias. As médias dos tratamentos com LE+N foram comparadas pelo teste de Tukey a 5 %.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Teores de nitrogênio no solo

Em 2003/04, a aplicação do LE aumentou significativamente os teores de N orgânico na camada de 0–20 cm de profundidade (Quadro 4). O teor médio de N-org foi de 979 mg kg⁻¹ com a aplicação do lodo e de 600 mg kg⁻¹ sem a aplicação do LE. Pode-se observar que a aplicação do LE na ausência de N (LE + 0N) resultou em teor de N orgânico cerca de 1,4 vez maior que o verificado no tratamento FM. Na camada de 20–40 cm, observou-se que as doses de N apresentaram efeito diferenciado em função da época de incorporação do lodo (Quadro 4). A incorporação do lodo 60 dias após sua aplicação (IS60A) resultou em maiores teores de N inorgânico. Em 2004/05, por sua vez, na camada de 0–20 cm verificaram-se efeitos significativos da interação N x I nos teores de N orgânico, N inorgânico e relação C/N (Quadro 4). Nesta amostragem (2003/04) também foi verificado que os tratamentos IS60A resultaram nos maiores teores de N orgânico no solo. Os teores de N inorgânico e a relação C/N, todavia, foram menores para esta época de incorporação. Na camada de 20–40 cm podem-se observar menores teores de N inorgânico com a aplicação do LE, teor médio de 12,23 mg kg⁻¹, em relação à média dos tratamentos sem LE (21,89 mg kg⁻¹). O efeito positivo da incorporação tardia do LE no solo sobre os teores de N pode ser resultado do menor contato entre as partículas do resíduo e do solo desfavorecendo a degradação microbiana.

O aumento dos teores de N orgânico do solo com a aplicação do lodo de esgoto está de acordo com os resultados obtidos por Oliveira et al. (2001), que também verificaram incrementos significativos do N-org com a aplicação do LE. Segundo Marques (1996), a decomposição gradativa do resíduo orgânico do lodo de esgoto no solo aumenta a possibilidade de aproveitamento pelas plantas do N mineralizado, comparado ao adubo mineral prontamente solúvel. Contudo, considerações a respeito da utilização do LE como melhorador da fertilidade do solo a longo prazo em função da mineralização da matriz orgânica e liberação do N devem ser tomadas com certa ressalva. O resíduo orgânico dos lodos de esgoto sujeito à intensa degradação aeróbia e anaeróbia nas estações de tratamento, de maneira geral, pode ser considerado relativamente recalcitrante em comparação a outros resíduos, como estercos de animais e adubos verdes (Andrade et al., 2005). Dessa maneira, a dinâmica dos nutrientes associados ao resíduo orgânico do LE estaria condicionada à qualidade desta. Isso pode ser comprovado observando-se os dados referentes ao teor de N inorgânico (Quadro 4). Verificou-se diferença significativa para o contraste Y2 (s/LE x c/LE) no segundo período estudado (2004/05), na camada de 20–40 cm de profundidade, porém o maior teor de N inorgânico foi obtido nos tratamentos sem o

resíduo (Quadro 4). Os valores médios para as duas épocas e profundidades estudadas também mostraram resultados similares, os quais estão de acordo com os apresentados por Andrade et al. (2005), que não observaram aumentos nos teores de N no solo com a aplicação de até 40 t ha⁻¹ de LE em solos cultivados com eucalipto.

Por sua vez, Corrêa et al. (2005), trabalhando com um Latossolo tratado com 8,0 t ha⁻¹ de lodo de esgoto, relataram acúmulo de 86 kg ha⁻¹ de N-NO₃⁻, considerando a camada até 20 cm de profundidade. Oliveira et al. (2001) também relataram aumento nas concentrações de N-NH₄⁺ + N-NO₃⁻ na solução do solo até a camada de 90–120 cm de profundidade com a aplicação de até 33 t ha⁻¹ de lodo.

Verifica-se, portanto, que a aplicação de N mineral ao LE com vistas a fornecer o nutriente não se justifica, tendo em vista que o teor de N-org + N-mineral do tratamento LE + 0N (efeito isolado do lodo) foi similar, se não maior, que o do tratamento FM (Quadro 4).

Teor de nitrogênio na planta

Com relação à absorção de N pela cana-de-açúcar, houve efeito significativo da aplicação do LE no teor foliar do nutriente nas amostras coletadas em 2003/04 (Quadro 5). Os tratamentos com LE apresentaram teores médios de N foliar iguais a 17,29 e 17,52 g kg⁻¹, respectivamente em 2003/04 e 2004/05, estando eles dentro da faixa de suficiência de 15 a 25 g kg⁻¹ de N (Raij et al., 1997). Comparando esses valores com os teores médios de 17,35 e 19,21 g kg⁻¹ de N observados nas folhas dos tratamentos que receberam apenas adubo mineral, verifica-se que o LE apresentou-se como uma fonte adequada do nutriente. Outros resultados experimentais também têm demonstrado a eficiência do LE no fornecimento de N às plantas (Lindemann & Cardenas, 1984; Korboulewsky et al., 2002; Simonete et al., 2003; Corrêa, 2004). Tasso Junior et al. (2007) aplicando 5 e 10 t ha⁻¹ de lodo de esgoto na cana-de-açúcar, não verificaram sintomas de deficiência de N, tanto no estádio de cana-planta

Quadro 4. Teores de nitrogênio orgânico (N-org), nitrogênio inorgânico (N-inorg.) e relação carbono/nitrogênio (C/N) do solo nos anos agrícolas 2003/04 e 2004/05

Tratamento	2003/2004					
	0–20 cm			20–40 cm		
	N org	N inorg	C/N	N org	Ninorg	C/N
———— mg kg ⁻¹ ———						
Controle	611	10,71	19	526	6,86	19
Fert. Min.	589	9,15	21	611	6,06	17
s/LE	600b	9,93	20a	568	6,46	18
c/LE	979a	10,56	12b	577	6,06	15
LE + 0N	814b	10,96	14	600	5,03b	16
LE + 60N	1.029a	9,75	11	585	5,96b	17
LE + 120N	1.095a	10,95	11	544	7,18a	18
ISA	937	10,71	13	588	5,83	17
IS60A	1.022	10,40	12	566	6,29	18
CV (%)	14,24	32,75	21,86	14,24	13,30	18,47
———— mg kg ⁻¹ ———						
2004/2005						
Controle	621	14,54	22b	605a	30,33 ^a	17
Fert. Min.	559	11,71	28a	472b	13,46b	20
s/LE	590b	13,12	25	538	21,89a	18
c/LE	662a	14,49	27	541	12,23b	17
LE + 0N	679ab	14,85b	27ab	553	6,28b	16
LE + 60N	699a	7,97c	30a	522	11,66ab	17
LE + 120N	606b	20,65a	25b	548	18,74a	18
ISA	637b	15,16a	30a	477b	13,20	18
IS60A	687a	13,83b	25b	605a	11,26	17
CV (%)	8,80	38,37	13,21	12,69	14,67	13,01

Fert. Min.: fertilização mineral; s/LE: média dos tratamentos sem lodo; c/LE: média dos tratamentos com lodo; N: dose de N; I: época de incorporação; ISA: incorporação após aplicação; IS60AL: incorporação 60 dias após aplicação do LE no solo; CV: coeficiente de variação. Médias seguidas de mesma letra, na coluna para as comparações controle x Fert. Min.; S/LE x C/LE; LE + 0N x LE + 60N x LE + 120N; ISA x IS60A, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Quadro 5. Teores de nitrogênio foliar (Nfol) e nitrogênio no caldo (Ncal) em cana-de-açúcar cultivada em solo tratado com lodo de esgoto, nos anos agrícolas de 2003/04 e 2004/05

Tratamento	2003/2004		2004/2005	
	Nfol g kg ⁻¹	Ncal mg L ⁻¹	Nfol g kg ⁻¹	Ncal mg L ⁻¹
Controle	16,84	15,65b	16,22b	10,84a
Fert. Min.	17,35	30,93a	19,21a	7,64b
s/LE	17,10	23,29a	17,71b	9,24
c/LE	17,81	15,09b	18,81a	7,75
LE + 0N	17,29	19,00a	17,52b	8,38
LE + 60N	17,96	19,93a	18,61b	8,26
LE + 120N	18,17	6,33b	20,29a	4,40
ISA	17,95	15,65	18,73	7,67
IS60A	17,67	14,53	18,88	7,84
CV (%)	7,70	27,51	4,49	31,84

Fert. Min.: fertilização mineral; s/LE: média dos tratamentos sem lodo; c/LE: média dos tratamentos com lodo; N: dose de N; I: época de incorporação; ISA: incorporação após aplicação; IS60A: incorporação 60 dias após aplicação do LE no solo; CV: coeficiente de variação. Médias seguidas de mesma letra, na coluna para as comparações controle x Fert. Min.; S/LE x C/LE; LE + 0N x LE + 60N x LE + 120N; ISA x IS60A, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

quanto nas soqueiras, por dois anos consecutivos utilizando a variedade SP81-3250.

Os teores de N no caldo não apresentaram resultados consistentes, sobretudo no segundo cultivo, e estiveram, em todos os tratamentos, em valores inferiores a 65 mg L⁻¹ de N, observado com a aplicação de até 160 t ha⁻¹ de LE (Marques, 1996). Os teores de N obtidos neste experimento (Quadro 5) condizem, na maioria dos tratamentos, com os encontrados por Beauclair (1994) para cana-de-açúcar não fertilizada com LE, que variaram entre 17 e 99 mg L⁻¹ de N, demonstrando que a utilização do LE foi tão eficiente quanto a fertilização mineral no suprimento de N para a planta.

Produção e componentes agroindustriais da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma cultura destinada principalmente ao processamento industrial, motivo pelo qual é importante a avaliação da qualidade de suas variáveis agroindustriais, além da produção de colmos.

No quadro 6 são apresentados os resultados da produção, em toneladas de colmos por hectare (TCH), e das variáveis agroindustriais. A comparação entre os tratamentos com e sem LE mostra que nos tratamentos que receberam o resíduo a produção de colmos foi cerca de 27 % superior ($p < 0,01$). O efeito positivo desses tratamentos na TCH não pode ser atribuído ao N mineral, tendo em vista que as produções não foram alteradas pela aplicação do nutriente, como exemplificado pelo teste F ($p > 0,05$).

para efeito de N e pela comparação entre os tratamentos LE + N (Quadro 6). Isso está de acordo com os resultados apresentados por Silva (1995), os quais mostram que o LE forneceu todo o N requerido pela cana-de-açúcar (soqueira), refletindo em incremento na produtividade.

Houve efeito significativo ($p < 0,05$) da época de incorporação do lodo sobre a TCH, em 2003/04; a incorporação 60 dias após a aplicação resultou em maior produtividade (Quadro 6). Convém salientar que este ano agrícola apresentou menor volume de chuvas, em comparação ao verificado em 2004/05, e este foi concentrado entre novembro/2002 e janeiro/2003 (Figura 1). No tratamento IS60A, a incorporação foi feita no período mais chuvoso, segunda quinzena de dezembro/2002, e a realização da tríplice operação nesta época pode ter resultado em incremento na infiltração de água no solo, aumentando as reservas hídricas e estimulando a atividade dos microrganismos. Em 2004/05, todavia, o volume de chuvas foi maior e mais bem distribuído durante todo o período experimental, o que pode ter minimizado o efeito da época de incorporação. Níveis adequados de umidade favorecem a mineralização do N orgânico, criando condições favoráveis à reabertura das soqueiras, independentemente do momento no qual o resíduo foi efetivamente incorporado no solo. Obviamente, a decisão sobre a melhor época para realização da tríplice operação deve considerar também os possíveis problemas associados à compactação do solo com níveis inadequados de umidade. Pode-se concluir, entretanto, que a permanência do lodo sobre o solo por até 60 dias não alterou sua capacidade em fornecer N para a cana-de-açúcar.

Quadro 6. Componentes de produção da cana-de-açúcar cultivada em solo tratado com lodo de esgoto, nos anos agrícolas de 2003/04 e 2004/05

Tratamento	°Brix	Fibra	Pol cana	AR cana	2003/04	
					%	kg t ⁻¹
Controle	23,60	9,00	18,37	0,58	175	75b
Fert. Min.	23,29	8,50	18,25	0,58	174	109a
s/LE	23,44	8,75	18,31	0,58b	174	92b
c/LE	23,33	8,56	18,18	0,60a	174	116a
LE + 0N	23,20	8,59	18,16	0,59b	173	117
LE + 60N	23,36	8,47	18,10	0,59b	173	116
LE + 120N	23,44	8,60	18,31	0,62a	175	116
ISA	23,23	8,63	18,10	0,59	173	111b
IS60A	23,44	8,48	18,28	0,60	175	122a
CV (%)	1,92	4,28	1,95	3,32	1,87	27,51
2004/05						
Controle	22,83	14,73a	14,19b	0,30b	162b	85b
Fert. Min.	23,03	11,16b	15,71a	0,40a	171a	115a
s/LE	22,93	12,94a	14,95b	0,35	166b	100b
c/LE	23,29	10,41b	16,58a	0,36	177a	127a
LE + 0N	23,36	11,18a	16,15b	0,36ab	175b	129
LE + 60N	23,23	10,47b	16,75a	0,32b	178a	122
LE + 120N	23,27	9,58c	16,83a	0,40a	178a	129
ISA	23,26	10,71a	16,36b	0,37	176b	130
IS60A	23,32	10,11b	16,80a	0,36	178a	124
CV (%)	1,34	3,92	2,26	14,73	1,48	7,96

Pol: sacarose aparente, %; AR: açúcares redutores, %; ATR: açúcar total recuperável, kg t⁻¹ de colmos; TCH: produção de colmos, t ha⁻¹; Fert. Min.: fertilização mineral; s/LE: média dos tratamentos sem lodo; c/LE: média dos tratamentos com lodo; N: dose de N; I: época de incorporação; ISA: incorporação após aplicação; IS60A: incorporação 60 dias após aplicação do LE no solo; CV: coeficiente de variação. Médias seguidas de mesma letra, na coluna para as comparações controle x Fert. Min.; S/LE x C/LE; LE + 0N x LE + 60N x LE + 120N; ISA x IS60A, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Não houve efeito dos tratamentos no conteúdo de sólidos solúveis, expresso em °Brix, em ambos os períodos estudados. O conteúdo de fibras, material insolúvel em água contido na cana-de-açúcar, foi alterado significativamente ($p < 0,01$) pela aplicação de LE no segundo período de avaliação e pode refletir em maior rendimento de caldo por tonelada de massa verde produzida, resultando também em menor produção de bagaço. Aumentos na quantidade de N aplicado na cultura da cana-de-açúcar tendem a reduzir o conteúdo de fibras (Orlando Filho, 1983; Tasso Junior et al., 2007).

Os dados de Pol cana mostram que houve incremento nos valores desta variável com a aplicação tanto do resíduo quanto de N em 2004/05 (Quadro 6). Esses resultados estão de acordo com Silva et al. (1998), que verificaram aumento na Pol da cana tratada com doses de até 30 t ha⁻¹ de lodo de esgoto.

O conteúdo de açúcares redutores (AR) também é um indicativo do grau de maturação da cana-de-

açúcar, e teores elevados de AR indicam menor acúmulo de sacarose. Nos dois períodos avaliados, a aplicação de N aumentou os valores de AR (Quadro 6), sendo um indicativo da permanência da cana-de-açúcar por mais tempo em estádio vegetativo. Silva et al. (1998) e Tasso Junior et al. (2007) também observaram resultados semelhantes. Os estudos referentes aos efeitos do N na qualidade do caldo da cana-de-açúcar não são totalmente conclusivos, porém há relatos de que doses elevadas do nutriente aumentam o conteúdo de açúcares redutores em detrimento do acúmulo de sacarose (Orlando Filho, 1983). Deve-se destacar, entretanto, que neste experimento procurou-se demonstrar que não é necessária a aplicação de N mineral junto do LE; nesse aspecto, a observação do tratamento LE + 0N demonstra que a aplicação do lodo apresentou resultados similares, se não superiores, aos da fertilização mineral. No tratamento LE + 120N foram adicionados no solo 240 kg ha⁻¹ de N (120 kg

provenientes do LE e 120 kg do adubo), e os valores de AR (0,68 e 0,40 %) foram similares aos verificados para o tratamento que recebeu apenas adubação mineral convencional (0,58 e 0,40 %, respectivamente em 2002/03 e 2003/04). Nesse caso, a aplicação simultânea de LE e N mineral não trouxe benefício para a qualidade da matéria-prima. Por outro lado, tampouco pode-se afirmar que o uso do LE causou efeitos deletérios na qualidade da cana-de-açúcar.

Em 2004/05, os tratamentos com LE apresentaram os maiores valores de ATR (177 kg t^{-1} contra 166 kg t^{-1}) (Quadro 6), que representa todos os açúcares invertidos que são recuperados na indústria. Esses resultados devem ser analisados com certa cautela, porque os efeitos favoráveis do LE nestas variáveis industriais da cultura da cana-de-açúcar estiveram associados às doses de N, não se podendo atribuir todo o efeito exclusivamente ao LE. Uma análise mais detalhada do quadro 6, todavia, mostra que, no caso da ATR, o tratamento LE + ON correspondeu a 4 kg t^{-1} a mais, comparativamente à adubação convencional. Esses resultados estão em concordância com os obtidos por Tasso Junior et al. (2007) e indicam a possibilidade de o LE substituir a adubação nitrogenada convencional sem prejuízos na qualidade da matéria-prima produzida – propriedade principal no sistema de pagamento da cana-de-açúcar.

Destaca-se a ausência de efeitos deletérios significativos, como aumento de AR e redução da Pol cana com a aplicação de até 240 kg ha^{-1} de N, podendo ser um indicativo da necessidade de revisão das tabelas de recomendação de adubação disponíveis quando da utilização de cultivares modernas ou desenvolvidas após a elaboração das recomendações atualmente em uso.

CONCLUSÕES

1. Para produção de cana-de-açúcar, não é necessária a complementação do lodo de esgoto com N mineral.
2. A incorporação do lodo de esgoto até 60 dias após sua aplicação no solo apresentou efeitos positivos na produção de colmos.
3. A utilização do lodo de esgoto como fonte de N não causou efeitos deletérios em propriedades tecnológicas do caldo de cana-de-açúcar.

AGRADECIMENTOS

Ao Sr. Arlindo Batagin Jr., proprietário da Fazenda Boa Esperança, à Dra. Mônica Ferreira de Abreu (Laboratório de Química Analítica do IAC/APTA/SAA) e à Dra. Raffaella Rossetto (APTA/Pólo Regional do Desenvolvimento Tecnológico dos Agronegócios Centro Sul).

LITERATURA CITADA

- ANDRADE, C.A.; OLIVEIRA, C. & CERRI, C.C. Qualidade da matéria orgânica e estoques de carbono e nitrogênio em Latossolo tratado com biossólido e cultivado com eucalipto. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:803-816, 2005.
- ANJOS, A.R.M. & MATTIAZZO, M.E. Lixiviação de íons inorgânicos em solos repetidamente tratados com biossólidos. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:927-938, 2000.
- BEAUCLAIR, E.G.F. Produtividade da cana-de-açúcar em função de alguns macronutrientes presentes no caldo e no solo. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1994. 97p. (Tese de Doutorado)
- CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A. & VALADARES, J.M.A.S. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1986. 94p. (Boletim Técnico, 106)
- CENTRO DE INFORMAÇÕES AGROMETEOROLÓGICAS – CIAGRO. Disponível em: www.iac.sp.gov.br/Ciagro. Acessado em: 01 dez. 2004.
- CESAR, M.A.A. & SILVA, F.C. A cana-de-açúcar como matéria-prima para a indústria sucroalcooleira. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1993. 108p.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. Aplicação de biossólido em áreas agrícolas: Critérios para projeto e operação São Paulo, 1999. 35p. (Manual Técnico)
- CORRÊA, R.S. Efficiency of five biosolids to supply nitrogen and phosphorus to ryegrass. *Pesq. Agropec. Bras.*, 39:1133-1139, 2004.
- CORRÊA, R.S.; WHITE, R.E. & WEATHERLEY, A.J. Modelling the risk of nitrate leaching from two soils amended with five different biosolids. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:619-626, 2005.
- COX, D.A. Pelletized sewage sludge as fertilizer for containerized plants: Plant growth and nitrogen leaching losses. *J. Plant Nutr.*, 18:2783-2795, 1995.
- DILLEWIJN, C. van. Botany of sugarcane. Waltham, Chronica Botanica, 1952. 371p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 1999. 412p.
- GALDOS, M.V.; De MARIA, I.C. & CAMARGO, O.A. Atributos químicos e produção de milho num Latossolo Vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto. *R. Bras Ci. Solo*, 28: 569-577, 2004.
- KORBULEWSKY, N.; DUPUYET, S. & BONIN, G. Environmental risks of applying sewage sludge compost to vineyards: Carbon, heavy metals, nitrogen and phosphorus accumulation. *J. Environ. Qual.*, 31:1522-1527, 2002.

- LINDEMANN, W.C. & CARDENAS, M. Nitrogen mineralization potential and nitrogen transformations of sludge-amended soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48:1072-1077, 1984.
- MARQUES, M.O. Incorporação de lodo de esgoto em solo cultivado com cana-de-açúcar. Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 1996. 111p. (Tese de Livre Docência)
- MATTIAZZO, M.E. Amostragem de solo para fins de avaliação da fertilidade na área de reforma de canaviais. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1982. 114p. (Tese de Doutorado)
- NASCIMENTO, C.W.; BARROS, D.A.S.; MELO, E.E.C. & OLIVEIRA, A.B. Alterações química em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:385-392, 2004.
- OLIVEIRA, F.C. & MATTIAZZO, M.E. Metais pesados em Latossolo tratado com lodo de esgoto e em plantas de cana-de-açúcar. *Sci. Agric.*, 58:581-593, 2001.
- OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E.; MARCIANO, C.R. & MORAES, S.O. Lixiviação de nitrato em um Latossolo Amarelo distrófico tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-açúcar. *Sci. Agric.*, 58:171-180, 2001.
- ORLANDO FILHO, J. Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil. Rio de Janeiro, IAA/PLANALSUCAR, 1983. 368p. (Coleção Planalsucar, 2)
- RAIJ, B.van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas, Instituto Agronômico, 2001. 285p.
- RAIJ, B.van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C., eds.. Cana-de-açúcar. In: RECOMENDAÇÕES de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2.ed. Campinas, Instituto Agronômico – Fundação IAC, 1997. p.237-239. (Boletim Técnico, 100)
- SILVA, F.C. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília, Embrapa Solos, Embrapa Informática Agropecuária, Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370p.
- SILVA, F.C. Uso agronômico de lodo de esgoto: efeitos em fertilidade do solo e qualidade da cana-de-açúcar. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1995. 170p. (Tese de Doutorado)
- SILVA, F.C.; BOARETTO, A.E.; BERTON, R.S.; ZOTELLI, H.B.; PEPE, C.A. & MENDONÇA, E. Cana-de-açúcar cultivada em solo adubado com lodo de esgoto: Nutrientes, metais pesados e produtividade. *Pesq. Agropec. Bras.*, 13:1-8, 1998.
- SIMONETE, M.A.; KIEHL, J.C.; ANDRADE, C.A. & TEIXEIRA, C.F.A. Efeito do lodo de esgoto em um Argissolo e no crescimento e nutrição de milho. *Pesq. Agropec. Bras.*, 38:1187-1195, 2003.
- STURION, A.C. & FERNANDES, A.C. Análise direta de cana-de-açúcar pelo método para prensa hidráulica. B. Técnico COPERSUCAR, 8:12-15, 1979.
- TASSO JUNIOR, L.C.; MARQUES, M.O.; FRANCO, A.; NOGUEIRA, G.A.; NOBILE, F.O.; CAMILOTTI, F. & SILVA, A.R. Produtividade e qualidade de cana-de-açúcar cultivada em solo tratado com lodo de esgoto, vinhaça e adubos minerais. *Eng. Agric.*, 27:276-283, 2007.
- VIEIRA, R.F. & CARDOSO, A.A. Variações nos teores de nitrogênio mineral em solo suplementado com lodo de esgoto. *Pesq. Agropec. Bras.*, 38:867-874, 2003.