

APROVEITAMENTO AGRÍCOLA DE RESÍDUOS NO CANAVIAL

Cassio Hamilton Abreu Junior¹

Thiago Assis Rodrigues Nogueira¹

Fernando Carvalho Oliveira²

Adriana Marlene Moreno Pires³

Ademir Franco¹

INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, sendo responsável por 33% do total produzido. Na safra 2007/2008, é prevista a produção de 527,98 milhões de toneladas de cana, em cerca de 6,6 milhões de hectares, sendo superior à safra anterior em 11,2% (CONAB, 2007). Porém, embora o Brasil apresente condições climáticas que propiciem inúmeras vantagens ao cultivo da cana, a sua produtividade ainda é baixa. Parte disso se deve às características dos solos brasileiros (baixa fertilidade, baixos teores de matéria orgânica e elevada acidificação), às práticas culturais inapropriadas e aos elevados custos dos fertilizantes.

Atualmente, tem-se observado que a expansão da fronteira agrícola canavieira está ocorrendo, principalmente, em solos de média à baixa fertilidade, os quais exigem especial atenção quanto aos sistemas de manejo a serem adotados. Isto, somado ao fato de a cana-de-açúcar exportar elevadas quantidades de nutrientes do solo e de o adubo ser um insumo de preço elevado, faz com que a prática de fertilização seja conduzida de forma criteriosa, visando maximizar as produções econômicas. Com isso, para a obtenção de altas produtividades na cultura da cana-de-açúcar, todas as tecnologias disponíveis e relativas à condução da cultura têm de ser empregadas.

Dentre estas tecnologias, a adubação, que representa cerca de 30% dos custos de produção (TEIXEIRA, 2005), assume papel de alta importância para o aumento de produtividade da cultura da cana-de-açúcar.

Neste sentido, o aproveitamento de resíduos no canavial, como fertilizante orgânico, quando devidamente tratados e/ou compostados, pode ser vantajoso, proporcionando benefícios agrônômicos, como: melhorias nas propriedades físicas e biológicas do solo,

¹ Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo (CENA/USP). Piracicaba, SP. E-mail: cahabreu@cena.usp.br; tarnogueira@cena.usp.br; ademirfranco@hotmail.com

² Biossolo Ltda. Piracicaba, SP. E-mail: fernando@biossolo.com.br

³ Embrapa Meio Ambiente. Jaguariúna, SP. E-mail: adriana@cnpma.embrapa.br

elevação dos teores de carbono orgânico (C-org) e da capacidade de troca de cátions (CTC), neutralização da acidez do solo (H+Al), aumento na disponibilidade de nutrientes, incrementos na produtividade e na qualidade da cana-de-açúcar, não obstante aos significativos retornos econômicos ao setor canavieiro, além de representar um benefício de ordem social pela disposição final com menor impacto negativo do resíduo no ambiente.

Entretanto, quando não forem obtidos e/ou tratados de modo devido, os resíduos podem apresentar potencial poluidor ou contaminante, em decorrência de que sua adição no solo ou na água possa introduzir elementos inorgânicos, compostos orgânicos tóxicos e/ou patógenos na cadeia alimentar. Isto revela que o monitoramento das possíveis alterações que possam ocorrer no sistema solo-cana é imprescindível para o sucesso da prática agrícola.

Desta forma, o uso racional de resíduos no canavial, amparado por legislação ou normas específicas, programas de controle de qualidade e pesquisa pertinentes, poderão contribuir significativamente para incrementos de produtividade e de qualidade da cana, com melhor relação custo/benefício.

Neste capítulo, objetivou-se abordar a potencialidade do aproveitamento de resíduos no canavial, compreendendo os aspectos relacionados à caracterização, à legislação, e aos benefícios e malefícios desses resíduos no sistema solo-cana.

CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS

Para análise do potencial de uso agrícola, a caracterização de um resíduo deverá considerar: a) matéria prima empregada e suas características – quantidade, tipo e origem; b) produtos acrescentados ao processo – quantidade, tipo e etapa; c) regime de produção – contínuo, intermitente ou sazonal; d) no caso de ser sólido – tipo e quantidade do resíduo, se líquido - regime de vazão do efluente; e) aspectos do resíduo – estado físico e temperatura; f) pré-tratamentos; assim como, a acidez ou alcalinidade, a condutividade elétrica, e a presença de odores, patógenos e compostos inorgânico e orgânicos tóxicos (ABREU JUNIOR *et al.*, 2005a, b).

Deve-se estabelecer um plano de amostragem, de caracterização e de classificação para resíduos sólidos, em conformidade com as normas: a) NBR 10004, para classificação (classifica os resíduos sólidos quanto aos riscos potenciais ao ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente); b) NBR 10005, para teste de lixiviação; c) NBR 10006, para teste de solubilização; e d) NBR 10007, para amostragem (ABNT, 1987a, b, c, d).

Para os resíduos líquidos, tais como efluentes líquidos e corpos receptores, aplicam-se as normas: a) NBR 9897, para o planejamento de amostragem (fixa condições exigíveis para a elaboração de planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos de água receptores); e b) NBR 9898, para preservação e técnicas de amostragem (fixa as condições exigíveis para a coleta e a preservação de amostras e de efluentes líquidos domésticos e industriais e de amostras de água, sedimentos e organismos aquáticos dos corpos receptores interiores superficiais) (ABNT, 1987e, f). De acordo com a NBR 10004, para análises químicas deverão ser usados os métodos do manual SW 846 (<http://www.epa.gov/sw-846/sw846.htm>), da USEPA, última edição, ou, quando disponível, os métodos nacionais equivalentes

elaborados pela ABNT.

De acordo com os resultados das análises químicas inorgânicas e orgânicas de amostras do resíduo, pode classificá-lo em função das suas características e do grau de periculosidade, conforme NBR 10004, em três classes: a) Classe I – perigoso, resíduos tóxicos, inflamáveis, corrosivos, reativos, explosivos, patogênicos, radioativos etc.; b) Classe II A – não inerte, resíduos que não se enquadram na classe I ou classe II B – inerte, nos termos da NBR 10004, e podem apresentar propriedades tais como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água, portanto, esta classe inclui resíduos orgânicos sólidos domiciliares e lodos gerados em estações de tratamento de esgotos domésticos com potencialidade de uso agrícola, podendo ou não oferecer riscos de contaminação por metais pesados, compostos orgânicos tóxicos ou patogênicos; e c) Classe II B – inerte, resíduos que quando submetidos ao teste de solubilização (NBR 10006) não apresentam nenhum de seus constituintes solubilizados à concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor, conforme anexo G da NBR 10004.

Após constatação de que o material é um resíduo Classe II A – não inerte, recomenda-se, para a definição de taxas de aplicação na agricultura, a caracterização do resíduo quanto à: a) mineralização do nitrogênio; b) toxicidade de compostos orgânicos e inorgânicos; e, para resíduos orgânicos de origem industrial, c) persistência da carga orgânica.

Finalmente, na possibilidade de uso do resíduo na cultura da cana-de-açúcar, devem ser considerados a taxa e o sistema de aplicação do resíduo e o retorno econômico, em comparação com as práticas agrícolas convencionais. Para tanto o produtor deve questionar: a) legislação vigente; b) monitoramento dos efeitos no solo, na planta e no caldo; c) quantidade de nutrientes fornecidos; d) exigência nutricional em função do sistema de cultivo; e) complementação com adubação mineral; f) custo do transporte e da aplicação; e, por fim, g) relação custo/benefício.

Composto de lixo urbano

O lixo urbano pode causar impacto adverso sobre o ambiente e a qualidade de vida nas cidades. Portanto, reciclar metal, papel, plástico, vidro etc., e compostar a fração orgânica do lixo (Figura 1), que representa a metade desse total, para uso posterior como fertilizante (KIEHL, 1985; MELO et al., 1997; ABREU JUNIOR et al., 2002, 2005a,b), constituem importantes estratégias para se minimizar os problemas do lixo.

A compostagem do lixo urbano também contribui significativamente para minimizar os riscos de saúde pública e as emissões de gases pelos aterros sanitários ligados a fração orgânica. Não obstante a aplicação de composto de lixo urbano no solo possa aumentar a produção de alimentos, a presença nesses materiais de metais pesados, de substâncias orgânicas tóxicas (bifenis policlorados-PCBs, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos-PAHs, alifáticos halogenados, pesticidas etc.) e de patógenos tem sido a maior restrição para o uso deles na agricultura (ACCIOLY & SIQUEIRA, 2000).

Constata-se que a separação (com qualidade) da fração inerte do lixo urbano é etapa essencial e imprescindível para a obtenção de composto com características agrônômicas desejáveis, assim como do tempo de maturação. As poucas pesquisas realizadas no Brasil apresentam resultados promissores quanto aos benefícios do composto de lixo sobre a cultura da cana-de-açúcar.

O composto de lixo ou composto de resíduos sólidos urbanos também é um resíduo

de composição predominantemente orgânica, resultante de processos de decomposição aeróbica e termofílica da fração orgânica do lixo doméstico por comunidades microbianas quimiorganotróficas existentes no próprio lixo, transformando-se, então, em fertilizantes orgânicos. A remoção prévia dos compostos não orgânicos consiste na retirada de materiais inertes recicláveis como plásticos, vidros, metálicos, papéis e papelão (KIEHL, 1985; OLIVEIRA, 2000).

A geração de lixo urbano é um processo bastante heterogêneo, em função de sua composição depender de a origem dos resíduos serem domésticos ou industriais, de áreas pobres ou ricas. Das práticas de destinação final do lixo, destaca-se a compostagem do lixo orgânico para a produção de adubo e reciclagem dos nutrientes nele contidos (BERTON & VALADARES, 1991; MELO *et al.*, 1997; ABREU JUNIOR *et al.*, 2005a, b).

Os aspectos biológicos, físicos e químicos do composto de lixo variam em função da fonte e natureza das matérias primas, da temperatura e do nível de maturação final da compostagem *etc.* (EGREJA FILHO *et al.*, 1999; BASSO, 2004; ABREU JUNIOR *et al.*, 2005a, b). Cerca de 50% do composto é constituído de MO e, dentre os nutrientes contidos no composto, o N, P, cobre (Cu), ferro (Fe) e zinco (Zn) são os que apresentam maior teor; porém, podem estar em formas não prontamente disponíveis às plantas (BERTON & VALADARES, 1991; CRAVO *et al.*, 1998).

De modo geral, verifica-se que os compostos de lixo de coleta seletiva apresentam qualidade adequada para uso agrícola, enquanto que compostos de lixo de coleta convencional (CRAVO *et al.*, 1998; EGREJA FILHO *et al.*, 1999; OLIVEIRA, 2000; BASSO, 2004) apresentaram qualidade muito inferior e com teores de metais pesados acima dos máximos permitidos em fertilizantes orgânicos, conforme Instrução Normativa nº 27, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA (BRASIL, 2006).

O composto maduro, quando bem processado, não tem odor, possui coloração característica e é fácil de manusear, de estocar e de transportar. O composto cru não possui essas qualidades e pode se tornar tóxico para as plantas (Tabela 1). O composto cru, por sua vez, não possui as características necessárias do composto de boa qualidade, demonstrando que, apesar de ter havido um início de decomposição, a matéria orgânica não pode ser considerada bioestabilizada (SILVA *et al.*, 2002b). Entre as conseqüências de se utilizar compostos imaturos no cultivo de plantas estão a interferência na germinação das sementes e a possível toxicidade causada pelo excesso de amônia (KIEHL, 1985).

Tabela 1 - Diferenças entre composto maduro e cru.

Composto Maduro	Composto Cru
Nitrogênio como íon nitrato	Nitrogênio como íon amônio
Enxofre com íon sulfato	Enxofre ainda em partes como íon sulfídrico
Baixa demanda de oxigênio	Alta demanda de oxigênio
Sem perigo de putrefação	Perigo de putrefação
Mineralização é cerca de 50%	Altas concentrações de substâncias orgânicas não mineralizadas
Alta capacidade de retenção de água	Baixa capacidade de retenção de água

Fonte: Silva *et al.* (2002b).

Lodo de esgoto

Lodo de esgoto é um resíduo semi-sólido resultante do tratamento dos esgotos ou

águas servidas cuja composição, predominantemente orgânica, varia em função da sua origem, do sistema de tratamento do esgoto e do próprio lodo dentro das estações. Quando o lodo de esgoto é proveniente de estações de tratamento biológico das águas servidas, com predominância de esgotos domésticos sobre os industriais, os níveis de metais pesados e patógenos permanecem dentro das faixas aceitáveis para o uso agrônômico.

O lodo de esgoto, quando devidamente condicionado biológica e fisicamente, atendendo à Norma P 4.230 (CETESB, 1999a) e à Resolução nº 375 (CONAMA, 2006), que legislam sobre o uso de lodo de esgotos na agricultura do Estado de São Paulo e no Brasil, respectivamente, poderá ser usado na cultura da cana-de-açúcar.

Em regiões de clima temperado, os nutrientes predominantes na forma orgânica, contidos no lodo de esgoto, têm uma vantagem adicional em relação aos mesmos na forma de fertilizantes químicos, pois seriam liberados ao solo no decorrer do ciclo da planta, reduzindo dessa forma a lixiviação. Todavia, essa liberação, dita mais lenta, dos nutrientes pelo lodo de esgoto, pode não ser verdadeira em solos tropicais, onde a degradação da fração orgânica é mais rápida.

Outro aspecto a ser considerado para o lodo de esgoto é que ele pode conter vetores de doenças para o homem e animal (por exemplo, *Ascaris lumbricoides*, *Salmonella typhi* e *S. paratyphi*, o vírus da pólio e da hepatite). As opções para o tratamento sanitário do lodo de esgoto para o uso agrícola são a fabricação dos fertilizantes organominerais (BETTIOL et al., 1983), a mistura com calcário ou, então, a compostagem (CONAMA, 2006).

Vinhaça

A vinhaça é um resíduo da produção de álcool, rico em matéria orgânica (MO) e potássio (K), além de conter outros nutrientes. De modo geral, a vinhaça produzida a partir de mosto de melaço apresenta concentrações superiores de nutrientes; de mosto misto, concentrações intermediárias; e de mosto de caldo, concentrações inferiores (ABREU JUNIOR et al., 2005a, b). No canavial, a recomendação de aplicação de vinhaça é feita com intuito de o resíduo fornecer 100% do K exigido pela cultura (BATAGLIA et al., 1986; RAIJ et al., 1997).

Em face ao teor de MO e elevada flora microbiológica, a vinhaça apresenta alta demanda bioquímica de oxigênio (DBO), caracterizando-se como forte poluente quando descartada em corpos d'água. Todavia, quando a vinhaça é adicionada ao solo, seu potencial poluidor é reduzido, em consequência das interações bióticas e abióticas com o solo (BATAGLIA et al., 1986; DEMATTÊ, 1992). Devido à propriedade fertilizante, a vinhaça tornou-se um importante insumo na indústria sucroalcooleira (LUZ, 2008).

A capacidade da vinhaça em fornecer K, somado aos benefícios nos atributos biológicos, físicos e químicos do solo, indicam que o uso agrícola da vinhaça é desejável; todavia, o aspecto econômico do seu transporte e aplicação em locais não muito próximos à usina ou destilaria deve ser analisado com atenção.

Outros resíduos

Há uma gama enorme de resíduos da indústria e da agricultura, por exemplo, o lodo de curtume, a água residuária (efluente) da indústria citrícola, as cinzas de caldeira, a torta de filtro etc., que podem ser usados na cultura de cana-de-açúcar (KIEHL, 1985; RAIJ et al., 1997; CÓ JUNIOR et al., 2008), após a devida caracterização, em havendo disponibilidade adequada.

LEGISLAÇÃO E NORMAS PARA O APROVEITAMENTO AGRÍCOLA

Aspectos gerais

A aplicação de resíduos orgânicos ao solo tem como objetivo básico o fornecimento de nutrientes às plantas. Neste aspecto, por exemplo, o uso da vinhaça na fertirrigação para a cana-de-açúcar, merece destaque nacional quando se pensa na produção de efluentes do setor agroindustrial brasileiro, uma vez que a vinhaça vem a ser um efluente com elevada carga orgânicas e nutrientes, oriundos da produção de álcool das destilarias de cana-de-açúcar (LUZ, 2008). Embora não contenha nenhum componente normalmente tóxico, o volume de vinhaça produzido é o que caracteriza um elevado potencial de impacto aos ecossistemas, gerando um grande potencial de poluição ambiental (BARBOSA, 2006).

No caso específico dos resíduos urbanos, principalmente, os lodos de esgoto e os compostos de lixo, o número cada vez maior de projetos implantados para tratamento de esgoto e de lixo urbano, tem aumentado vertiginosamente as quantidades de resíduos gerados e, com isso, a pressão para disposição final desses materiais a baixo custo (ABREU JUNIOR *et al.*, 2005a, b).

O desenvolvimento acelerado da atividade humana, que vem acontecendo nas últimas décadas, tem resultado em pressões dramáticas sobre o ambiente pelos resíduos produzidos. Os legisladores, para prevenir catástrofes ambientais causadas pela poluição do solo, do ar e da água, elaboram leis e normas relativas à geração, coleta, transporte, tratamento, acondicionamento, reciclagem, reutilização e disposição final dos resíduos.

A seguir, serão abordadas algumas das legislações e/ou normas referentes ao uso e caracterização de fertilizantes orgânicos, lodo de esgoto, lodo de curtume, vinhaça, efluentes de indústrias cítricas e outros resíduos. Salienta-se que, procurou-se apenas direcionar o leitor ao conhecimento da existência destas normas, não as descrevendo como tal, porém deixando opções àqueles que vierem a necessitar destas.

Fertilizantes orgânicos

De acordo com a Instrução Normativa (IN) nº 23, de 31/08/2005, da Secretaria de Defesa Agropecuária (SDA), do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), entende-se por **fertilizante orgânico**, o produto de natureza fundamentalmente orgânica, obtido por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matérias-primas de origem industrial, urbana ou rural, vegetal ou animal, enriquecido ou não de nutrientes minerais (BRASIL, 2005).

Nesta mesma IN, os fertilizantes orgânicos são subdivididos em fertilizantes simples, mistos, compostos e organominerais e passaram a ser classificados de acordo com as matérias-primas utilizadas na sua produção, sendo:

Classe “A” – fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria-prima de origem vegetal, animal ou de processamentos da agroindústria e não utiliza o sódio (Na⁺), metais pesados, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos;

Classe “B” – fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria-prima oriunda de processamento da atividade industrial ou da agroindústria, onde o sódio (Na⁺), metais pesados, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos são utilizados no processo;

Classe “C” – fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda de lixo domiciliar, resultando em produto de utilização segura na agricultura; e

Classe “D” – fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda do tratamento de despejos sanitários, resultando em produto de utilização segura na agricultura.

As especificações estabelecidas para os compostos produzidos no Brasil, bem como a classificação granulométrica, são apresentadas nas Tabelas 2 e 3, respectivamente.

Tabela 2 - Especificações dos fertilizantes orgânicos mistos e composto no Brasil.

Propriedade	Valor a ser garantido				
	Misto/composto				Vermicomposto
	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D	Classes A, B, C, D
Umidade % (máx.)	50	50	50	70	50
N total % (mín.)			1		
Carbono org. % (mín.) ⁽¹⁾		15			10
CTC (cmol _c /kg) ⁽¹⁾			Conforme declarado		
pH (mín.)	6,0	6,0	6,5	6,0	6,0
Relação C/N (máx.)		18			12
Relação CTC/C (mín.) ⁽¹⁾	20	20	20	30	20
Soma NPK, NP, NK, PK %			Conforme declarado		

Fonte: Instrução Normativa nº 23 (Brasil, 2005).⁽¹⁾Valores expressos em base seca, umidade determinada a 65°C.

Tabela 3 - Classificação de fertilizantes orgânicos e biofertilizantes constituídos de partículas sólidas ou frações sólidas.

Natureza física	Especificação granulométrica		
	Penetra	Passante	Retido
Granulado	4,0 mm (ABNT nº 5)	95% mínimo	5% máximo
	1,0mm (ABNT nº 18)	5% máximo	95% mínimo
	2,0mm (ABNT nº 10)	100%	0%
Pó	0,84mm (ABNT nº 20)	70% mínimo	30% máximo
	0,3mm (ABNT nº 50)	50% mínimo	50% máximo
Farelado	3,36mm (ABNT nº 6)	95% mínimo	5% máximo
	0,5 mm (ABNT nº 35)	25% máximo	75% mínimo
Farelado Grosso	4,8 mm (ABNT nº 4)	100%	0%
	1,0 mm (ABNT nº 18)	20% máximo	80% mínimo

Fonte: Brasil (2005).

Conforme pode-se verificar, a legislação para o uso agrícola de fertilizantes orgânicos no Brasil (BRASIL, 2005, 2006), ainda é muito recente e os valores estabelecidos como limites máximos admitidos de contaminantes em fertilizantes orgânicos brasileiros são compatíveis com aqueles das rígidas normas dos países europeus.

No Brasil, a IN nº 27, de 05/06/2006, do MAPA, anexo V (BRASIL, 2006), estabelece os limites máximos de contaminantes admitidos em fertilizantes orgânicos (Tabela 4). Para os teores de metais pesados, os valores apresentados estão na média dos limites propostos pelos países europeus.

Tabela 4 - Limites máximos de contaminantes admitidos em fertilizantes orgânicos.

Contaminantes	Valor máximo admitido
Arsênio (mg kg ⁻¹)	20,00
Cádmio (mg kg ⁻¹)	3,00
Chumbo (mg kg ⁻¹)	150,00
Cromo (mg kg ⁻¹)	200,00
Merúrio (mg kg ⁻¹)	1,00
Níquel (mg kg ⁻¹)	70,00
Selênio (mg kg ⁻¹)	80,00
Coliformes termotolerantes - número mais provável por grama de matéria seca (NMP/g de MS)	1.000,00
Ovos viáveis de helmintos - número por quatro gramas de sólidos totais (nº em 4g ST)	1,00
<i>Salmonella</i> SP	Ausência em 10g de matéria seca

Fonte: Instrução Normativa nº 27 (Brasil, 2006).

Lodo de esgoto

Considerando a necessidade de dispor os lodos de esgoto provenientes das estações de tratamento de esgoto sanitário de forma adequada à proteção do ambiente e da saúde da população, o Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA publicou a Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006 que “*define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências*”.

Os lotes de lodo de esgoto e de produtos derivados, para o uso agrícola, segundo rege a Resolução devem respeitar os limites máximos de concentração e a cargas acumuladas máximas (valores teóricos) permitidas, de metais pesados e patógenos, conforme especificadas nas das Tabelas 5 e 6, respectivamente.

Tabela 5 - Substâncias inorgânicas e cargas acumuladas teóricas permitidas de substâncias inorgânicas pela aplicação de lodo de esgoto ou produto derivado em solos agrícolas.

Substâncias inorgânicas	Concentração máxima permitida no lodo de esgoto ou produto derivado (mg kg ⁻¹ , base seca)	Carga máxima permitida
Arsênio	41	30
Bário	1300	265
Cádmio	39	4
Chumbo	300	41
Cobre	1500	137
Cromo	1000	154
Merúrio	17	1,2
Molibdênio	50	13
Níquel	420	74
Selênio	100	13
Zinco	2800	445

Fonte: CONAMA (2006).

Tabela 6 - Classes de lodo de esgoto ou produto derivado - agentes patogênicos.

Tipo de lodo de esgoto ou produto derivado	Concentração de patógenos
A	Coliformes Termotolerantes <10 ³ NMP / g de ST Ovos viáveis de helmintos < 0,25 ovo / g de ST <i>Salmonella</i> ausência em 10 g de ST Vírus < 0,25 UFP ou UFF / g de ST
B	Coliformes Termotolerantes <10 ⁶ NMP / g de ST Ovos viáveis de helmintos < 10 ovos / g de ST

Fonte: CONAMA (2006). ST = Sólidos Totais. NMP = Número Mais Provável. UFF = Unidade Formadora de Foco. UFP = Unidade Formadora de Placa

A Resolução nº 375 também estabelece as culturas aptas a receberem lodo de esgoto ou produto derivado, segundo a qual é proibida a utilização de qualquer classe de lodo em pastagens e cultivo de olerícolas, tubérculos e raízes, e culturas inundadas, bem como as demais culturas cuja parte comestível entre em contato com o solo. As pastagens somente poderão ser implantadas após um período mínimo de 24 meses da última aplicação. As olerícolas, tubérculos, raízes e demais culturas cuja parte comestível entre em contato com o solo bem como cultivos inundáveis, somente poderão ser cultivados na área após um período mínimo de 48 meses da última aplicação. A utilização de lodo classe B é restrita ao cultivo de café, silvicultura, culturas para produção de fibras e óleos, com a aplicação mecanizada, em sulcos ou covas, seguida de incorporação.

Os estados de São Paulo e Paraná, por sua vez, possuem legislação própria sobre o uso de lodo na agricultura.

No Paraná, por meio da SANEPAR, foram propostas normas, com alguns critérios adaptados da legislação da Espanha, regulamentando a utilização agrícola do lodo de esgoto produzido naquele estado (Companhia de Saneamento do Paraná, 1997).

As normas e critérios para utilização de resíduos em áreas agrícolas no Estado de São Paulo tiveram início em dezembro de 1999, por meio da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB, que editou o Manual Técnico (Norma P 4.230) intitulado: Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas – critérios para projeto e operação (CETESB, 1999a), que, além de estabelecer teores máximos de metais pesados permissíveis no lodo, consideram ainda a taxa de aplicação anual máxima de metais em solos agrícolas tratados com lodo de esgoto e a carga máxima acumulada de metais pela aplicação do lodo.

Em 2005, a CETESB, por meio da Decisão da Diretoria nº 195-2005-E (CETESB, 2005a), publicou os valores orientadores para qualidade dos solos que define, até a presente data, os teores máximos permitidos de metais em solos do Estado de São Paulo (Tabela 7). A aplicação do lodo dar-se-á enquanto os teores de metais no solo não ultrapassarem o valor de prevenção.

Tabela 7 - Valores orientadores de alguns metais pesados para solo (mg kg⁻¹ de material seco) no Estado de São Paulo.

Elementos	Referência de qualidade	Prevenção	Intervenção Agrícola APM _{Max} ⁽¹⁾
Arsênio	3,5	15	35
Bário	75	150	300
Cádmio	<0,5	1,3	3
Chumbo	17	72	180
Cobre	35	60	200
Cromo	40	75	150
Mercúrio	0,05	0,5	12,0
Níquel	13	30	70
Selênio	0,25	5	⁽²⁾
Zinco	60	300	450

Fonte: CETESB (2005a). ⁽¹⁾Área de Proteção Máxima. ⁽²⁾Valor não estabelecido. Os teores dos metais foram obtidos pelos métodos 3050 e 3051 descrito em USEPA (1986), portanto não são teores totais.

Lodo de curtume

Em São Paulo, a CETESB, por meio do Manual Técnico – Norma P 4.233, de setembro de 1999 (CETESB, 1999b), estabelece critérios para o uso do lodo de curtume em áreas agrícolas e procedimentos para apresentação de projetos. A norma aplica-se à utilização de lodos gerados em sistema de tratamento dos despejos de curtumes. A mesma norma proíbe o uso em solo agrícola de resíduos constituídos exclusivamente de lodos dos banhos de curtimento e recurtimento com cromo, e aqueles provenientes de sistemas de decantação primária de curtumes que não efetuem segregação dos banhos que contenham cromo.

A norma condiciona a aplicação de lodo de curtume em solo à aprovação de projeto pela CETESB e dá diretrizes para apresentação do projeto. Os teores máximos de contaminantes permitidos no solo devem obedecer aos valores orientadores da CETESB (Tabela 7) (CETESB, 2005a).

A Norma P 4.233 encontra-se em revisão pelo Grupo Lodo da Câmara Ambiental do Couro, sendo prevista a publicação da norma revisada em meados de agosto de 2008, uma vez que até a presente data nenhum projeto foi aprovado pela CETESB.

Vinhaça

Foi homologada em março de 2005 a Norma Técnica da CETESB P 4.231, intitulada “Vinhaça: critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola” (CETESB, 2005b), que tem por objetivo estabelecer os critérios e procedimentos para a aplicação de vinhaça, gerada pela atividade sucroalcooleira no processamento da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo.

Esta norma levou em consideração aspectos da Legislação Federal e Estadual, além de normas técnicas da ABNT e da própria CETESB, para estabelecer os critérios e procedimentos propostos para a utilização da vinhaça. Em síntese, esta norma e as suas regulamentações tratam de limites de áreas para aplicação, tanques de armazenamento, canais para distribuição, limites de dosagem e plano anual de aplicação da vinhaça.

Dentre estes itens, cabe destacar neste capítulo, os aspectos relacionados aos limites de dosagem para a aplicação de vinhaça em solos agrícolas. Neste sentido, de acordo com a

Norma Técnica P 4.231 da CETESB (2005b), o estabelecimento da dosagem a ser utilizada para aplicação de vinhaça tem como preceitos básicos os seguintes aspectos:

- enriquecimento dos solos agrícolas, ou seja, a melhoria da fertilidade do solo;
- considerar um “volume de solo” para o manejo da aplicação da vinhaça, estabelecendo a camada de 0 a 0,8 m como alvo;
- levar em conta o estado “atual” da fertilidade do solo, limitando a aplicação de vinhaça, quando a concentração de K^+ no solo – K_{solo} ultrapassar o correspondente a “5% de ocupação da Capacidade de Troca Catiônica – CTC”;
- a “qualidade” da vinhaça no que tange à concentração de K^+ expressa em $kg\ m^{-3}$ de K_2O ;
- a capacidade de extração do K^+ pela cultura da cana-de-açúcar, assumindo um valor de referência de $185\ kg\ ha^{-1}$ de K_2O por corte.

Dessa forma, a dose máxima de vinhaça a ser aplicada no tratamento de solos agrícolas em cultura de cana-de-açúcar deve ser determinada pela equação:

$$\text{Volume de vinhaça (m}^3\text{ ha}^{-1}\text{)} = \frac{[(0,05 \times \text{CTC} - k_s) \times 3744 + 185]}{K_{vi}}$$

em que:

$0,05 = 5\%$ da CTC;

CTC = Capacidade de Troca Catiônica, expressa em $cmol_c\ dm^{-3}$ a pH 7,0, dada pela análise de fertilidade do solo realizada por laboratório de análise de solo e utilizando metodologia de análise de solo do Instituto Agronômico de Campinas, devidamente assinada por responsável técnico;

k_s = concentração de K no solo, expresso em $cmol_c\ dm^{-3}$, à profundidade de 0,8 metros, dada pela análise de fertilidade do solo realizada por laboratório de análise de solo utilizando metodologia de análise de solo do Instituto Agronômico de Campinas, devidamente assinada por responsável técnico;

3744 = constante para transformar os resultados da análise de fertilidade do solo, expressos em $cmol_c\ dm^{-3}$ ou $100\ meq\ cm^{-3}$, em kg de K em um volume de 1 ha por 0,8 metros de profundidade;

185 = $kg\ ha^{-1}$ de K_2O extraído pela cultura por corte;

k_{vi} = concentração de K na vinhaça, expressa em $kg\ m^{-3}$ de K_2O , apresentada em boletim de resultado analítico, assinado por responsável técnico.

Por fim, conforme comentários feitos por BARBOSA (2006), para o setor canavieiro, essa legislação ambiental, embora contenha alguns pontos bastante polêmicos, representa um importante avanço, pois estabelece referências formais para o uso, coíbe a destinação irresponsável e promove empreendimentos em melhoramentos de pesquisa e uso da vinhaça.

Efluentes de indústrias cítricas

A água residuária (efluente) da indústria citrícola, em virtude do grande volume gerado, consiste em importante resíduo que, aliado ao tratamento biológico convencional, apresenta alto potencial de disposição no solo (SIVIERO & ANGELIS, 1995; ALOISI *et al.*, 2001), fornecendo água e nutrientes para a cana-de-açúcar. O efluente contém expressivos teores de nutrientes, não obstante o predomínio do sódio (Na) no resíduo indique que seu uso deva ser monitorado quanto à condutividade elétrica, sodicidade e dispersão de argila do solo. Em termos de alterações das propriedades químicas do solo, parece não haver restrição para a disposição controlada, porém não substitui o uso de adubos minerais (ALOISI *et al.*, 2001).

Até o momento não existe ainda legislação sobre o aproveitamento de efluentes de indústrias cítricas em áreas agrícolas. Porém, está sendo elaborada uma Norma Técnica, por meio da CETESB, no intuito de estabelecer critérios e procedimentos para armazenamento, transporte e aplicação de efluentes líquidos gerados pela atividade de processamento de frutas cítricas em solos agrícolas no Estado de São Paulo.

Outros resíduos

Atendidas as disposições legais e descartados todos os efeitos tóxicos à cultura da cana, solo e água, a opção da disposição de outros resíduos em solos agrícolas é econômica, social e ambientalmente mais sustentável, em médio e a longo prazo, do que a incineração, disposição em lixões, corpos d'água ou, mesmo, aterros planejados. Todavia, há que se considerar a disponibilidade e os custos de transporte e da aplicação destes outros resíduos no canavial.

RESÍDUOS ORGÂNICOS NO SISTEMA SOLO-CANA

Neste item, procurou-se abordar alguns aspectos referentes ao aproveitamento agrícola dos resíduos já mencionados anteriormente. Entretanto, inicialmente deve-se esclarecer que, o uso desses resíduos no sistema solo-cana, deve ser praticado mediante cuidados especiais e que compreendam várias etapas que vão da pré-caracterização dos resíduos na sua origem, aos estudos de seus efeitos específicos no solo, assim como observar a legislação pertinente.

Porém, cabe ressaltar que, os procedimentos para uso desses resíduos no sistema solo-cana, não se esgotam na sua caracterização, legislação e efeitos no solo, haja vista que, conforme pode ser verificado no fluxograma extraído de GLÓRIA (1992), há também uma série de fatores que devem ser considerados antes de se estabelecer um projeto de uso agrícola, dos quais se destacam a disponibilidade do resíduo, em quantidade e qualidade, e a economicidade do uso do resíduo no solo agrícola (Figura 2).

Levando-se em conta todos os fatores observados acima, cabe ao agricultor, em parceria com o gerador, quando for aproveitar o resíduo por meio da aplicação no canavial, fazê-lo no sentido de não só eliminar a sua nocividade, mas também tornar atraente o uso, quer como fonte de nutrientes para a cana, ou como condicionador do solo. Todavia, ressalta-se que, pela lei 6.938, a empresa geradora do resíduo orgânico, mesmo usado como fertilizante, é o responsável pela destinação final correta deste resíduo e, conseqüentemente, responderá pelo mau uso, é o que se chama de "responsabilidade objetiva".

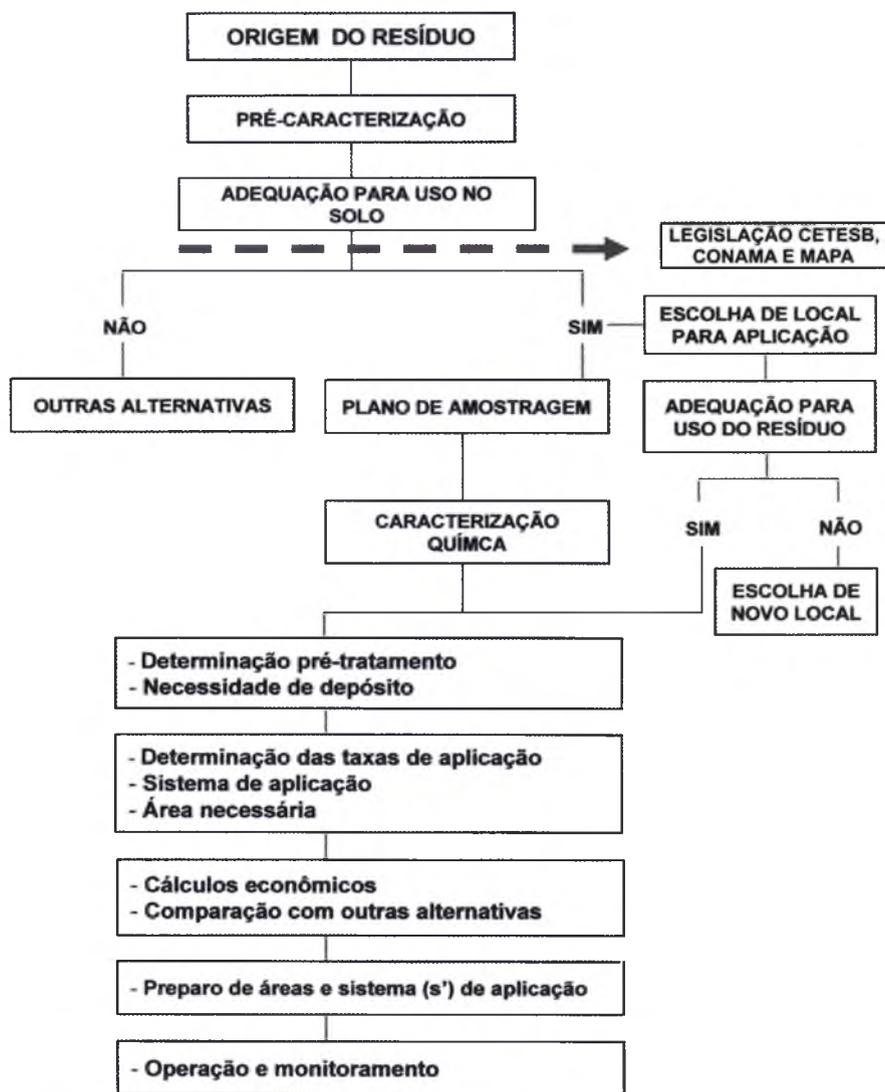


Figura 2 - Fluxograma dos procedimentos para uso de resíduos na agricultura (adaptado de GLÓRIA, 1992).

Vinhaça

Conforme já abordado, a vinhaça é um resíduo da produção de álcool, rico em matéria orgânica e potássio, além de conter outros nutrientes. De modo geral, a vinhaça produzida a partir de mosto de melaço apresenta concentrações superiores de nutrientes; de mosto misto, concentrações intermediárias; e de mosto de caldo, concentrações inferiores (ABREU JUNIOR et al., 2005a). Em face ao teor de matéria orgânica e elevada flora microbiana, a vinhaça apresenta alta demanda bioquímica de oxigênio (DBO), caracterizando-se como forte poluente quando descartada em corpos d'água. Todavia, quando a vinhaça é adicionada ao solo, seu potencial poluidor é reduzido, em consequência das interações bióticas e abióticas com o solo (BATAGLIA et al., 1986). Devido à propriedade fertilizante, a vinhaça tornou-se um importante insumo da indústria sucroalcooleira na produção da cana-de-açúcar (Figura 3).

Como recomendação agrícola (RAIJ *et al.*, 1997), preconiza-se que a vinhaça seja aplicada em quantidades que podem variar de 60 a 150 m³ ha⁻¹, em função da concentração de K₂O, sendo que a quantidade de potássio adicionada pela vinhaça deve ser deduzida na íntegra da adubação mineral.

Segundo GLÓRIA & ORLANDO FILHO (1983) os efeitos da aplicação da vinhaça no solo, em geral são: elevação do pH, da CTC, da capacidade de retenção de água, da população e da atividade microbiana e aumento da disponibilidade de nutrientes.

Alguns estudos evidenciam que a aplicação da vinhaça não altera a densidade do solo (CAMARGO *et al.*, 1983), a porosidade total, a macroporosidade e a microporosidade (ANDREOLI, 1986), devido ao fato de não ter aumento da matéria orgânica do solo. Mas, aplicações sucessivas de vinhaça por longo período, podem aumentar o teor de matéria orgânica (CANELLAS *et al.*, 2003) e, com isso, melhorar a condição física do solo.

Em termos de produtividade agrícola de colmos, existem inúmeros experimentos que comprovam os resultados positivos da aplicação da vinhaça associados ou não à economia na aquisição dos adubos minerais (ROBAINA *et al.*, 1983; PENATTI & FORTI, 1994 e 1997); entretanto, quase que invariavelmente, observa-se queda da qualidade da matéria-prima. Em geral, os efeitos são: atraso da maturação, redução no teor de sacarose e acúmulo de e cinzas no caldo.

ORLANDO FILHO *et al.* (1995), observaram que as áreas que receberam vinhaça apresentaram maior número de colmos por metro linear. Em relação às características tecnológicas da cana-de-açúcar, os valores de Pol (sacarose aparente) e fibra (%) decresceram. A diminuição da porcentagem de Pol e fibra da cana é compensada, em muitos casos, pelo aumento da produção de colmos (KORNDÖFER, 1994).

BUZOLIN (1997) e FIGUEIREDO (2000) verificaram que o uso de vinhaça, complementada ou não com nitrogênio, não afetou as características tecnológicas da cana-de-açúcar, mas aumentou a produtividade de colmos e de açúcar.

PENATTI *et al.* (2001), estudando a aplicação de quatro doses de vinhaça (0, 100, 200 e 300 m³ ha⁻¹) combinadas com quatro doses de nitrogênio (0, 50, 100 e 150 kg ha⁻¹) em um Latossolo Vermelho Amarelo cultivado com soqueira (2º corte) de cana-de-açúcar (var. RB72454), durante quatro anos consecutivos, verificaram que, as maiores produtividades (médias de quatro safras) foram obtidas pela aplicação de 300 m³ ha⁻¹ de vinhaça complementada com 100 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

Outro aspecto importante são os efeitos causados com as elevadas taxas de aplicação de vinhaça no solo, tornando-se um fator de preocupação especialmente com as águas subterrâneas. Neste sentido, HASSUDA (1989) observou que as águas subterrâneas sofreram alterações físico-químicas quando a vinhaça foi aplicada a taxas muito elevadas, cerca de 12.000 m³ ha⁻¹ durante nove safras em solo arenoso. Entretanto, essa referência não deve ser generalizada para caso de doses usuais de aplicação de vinhaça, que estão entre 60 a 500 m³ ha⁻¹ por ano em diversos tipos de solo (BARBOSA, 2006). Por outro lado, ORLANDO FILHO *et al.* (1995) avaliando a lixiviação de nitrogênio em um solo arenoso, ao longo do perfil (até 200 cm de profundidade), sob adubação mineral e com vinhaça durante 25 semanas após a aplicação, verificaram que não ocorreu aumento no N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺ ao longo do perfil do solo.

Desta forma, o conhecimento, aliado às novas tecnologias do uso da vinhaça em canaviais, por meio do controle de seu potencial poluidor e dos efeitos no solo, permitem

inferir que as empresas do setor canavieiro podem e devem fazer uso deste resíduo. Além disso, do ponto de vista social, econômico, e principalmente ambiental, a disposição deste resíduo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar, vem consolidar essa prática como importante fator de sustentabilidade do agro-ecossistema justificando crescentes investimentos em novas pesquisas e aprimorando técnicas no manejo e no cultivo da cana.

Lodo de esgoto

O aproveitamento agrícola do lodo de esgoto destaca-se por reduzir a pressão sobre a exploração dos recursos naturais envolvida na produção de fertilizantes e os custos decorrentes dos insumos agrícolas nos sistemas produtivos. Além disso, diminui o impacto ambiental causado, na medida em que dispensa a adoção de outras opções de destino (NOGUEIRA et al., 2006).

A aplicação de lodo de esgoto nas diversas culturas tem sido estudada, demonstrando que a cana-de-açúcar é uma das alternativas mais adequadas (MARQUES, 1990; FRANCO, 2003), especialmente para o Estado de São Paulo (Figura 4).

Por apresentar, em sua composição, matéria orgânica e nutrientes de plantas, em níveis apreciáveis, o lodo de esgoto sanitário vem sendo utilizado como fertilizante e condicionador do solo, podendo substituir, ainda que parcialmente, os fertilizantes minerais (NASCIMENTO et al., 2004). Conforme SILVA et al. (2001) o lodo de esgoto além de aumentar a fertilidade do solo pela diminuição da acidez, fornece de nutrientes para a cultura de cana-de-açúcar.

CHIBA (2005), aplicando até 8,2 t ha⁻¹ de lodo de esgoto (base seca) em cana-planta, em combinação com adubo fosfatado, e 16 t ha⁻¹ de lodo em cana-soca, em combinação com adubo nitrogenado, verificou que o lodo pode substituir até 25% do adubo fosfatado na cana-planta e 100% do adubo nitrogenado na cana-soca.

MARQUES et al. (2007a) também verificaram benefícios do aproveitamento do lodo de esgoto na cana-de-açúcar quando comparado a aplicação de fertilizantes minerais. Segundo estes autores, a associação do lodo de esgoto com a adubação mineral, nas condições em que foi conduzido o experimento, permitiu a economia de metade da adubação mineral recomendada, mantendo-se a produtividade, as características químicas do solo, em sua maioria, e as características tecnológicas da cana-de-açúcar.

Em relação aos atributos físicos do solo, de acordo com CAMILOTTI et al. (2005), aplicações de lodo de esgoto podem melhorar a condição física de solos canavieiros, que estão sujeitos à desagregação provocada por determinados implementos, e à compactação, causada pela pressão exercida por máquinas que trafegam intensamente na área. Pesquisas demonstram que a aplicação de lodo de esgoto em solos tropicais resulta em aumento da macroporosidade (MELO et al., 2004) e diminuição da resistência do solo à penetração (BARBOSA et al., 2002) ou até mesmo não alteram os atributos físicos do solo (CAMILOTTI et al., 2006a), após o 3º e 4º corte da cana-de-açúcar.

Cabe ressaltar que, ainda que seja válido do ponto de vista ambiental, aplicar lodo de esgoto somente com a finalidade agrônômica de melhorar a estruturação do solo pode ser antieconômico. Em contrapartida, minimizam-se os riscos econômicos quando o lodo é aplicado para fornecer nutrientes às culturas (CAMILOTTI et al., 2006b).

Quanto à produtividade da cana, de forma geral, têm-se notado efeitos positivos do aproveitamento dos lodos de esgoto no canavial. Neste sentido, SILVA et al. (1998) encontraram aumentos na produtividade da cana-de-açúcar quando aplicaram até 30 t ha⁻¹

de lodo de esgoto. Conforme estes autores, houve ganho de produtividade de biomassa de colmos da soqueira, graças ao uso do lodo de esgoto, sem prejuízos da qualidade tecnológica medida pelo Brix, Pol e ATR (açúcar recuperável na indústria), o que, em consequência, proporcionou aumento da produtividade em açúcar por área (Figura 5).

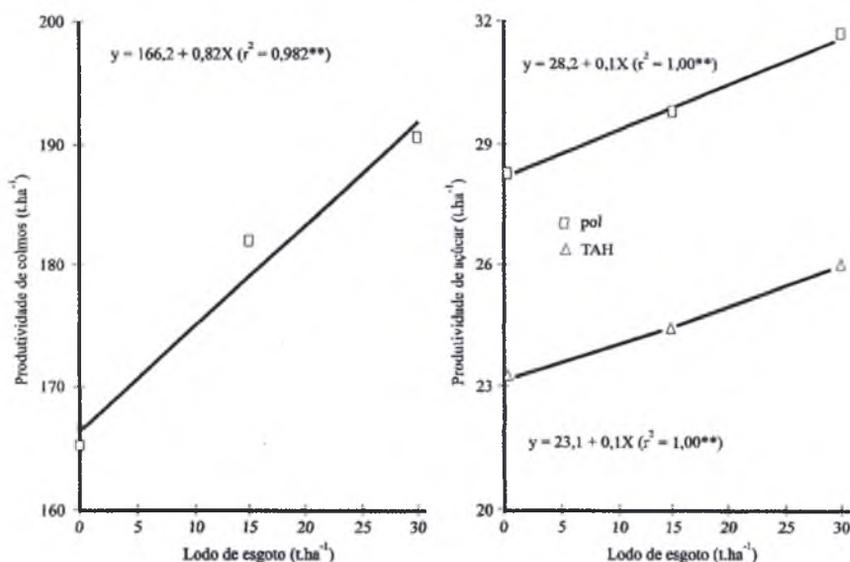


Figura 5 - Efeitos das doses de lodo de esgoto aplicado ao solo sobre as produtividades de colmos e de açúcar por hectare, medida em termos de sacarose aparente (Pol) e em açúcar teórico recuperável na indústria (TAH).

FRANCO (2003) observou que o lodo de esgoto sendo uma fonte de N e vinhaça sendo uma fonte de K, aplicados em um Latossolo Vermelho distroférrico, foram tão eficientes quanto as fontes minerais desses dois nutrientes (uréia e KCl) na produtividade e qualidade industrial da cana-planta (SP81-3250). No 2º corte (1ª cana-soca), TASSO JUNIOR *et al.* (2007), observaram que as maiores produtividades foram encontradas quando se empregou o lodo de esgoto complementado com KCl (106,6 t ha⁻¹), sendo esses valores da mesma ordem de grandeza daqueles obtidos com a fertilização mineral (105,6 t ha⁻¹). Para o 3º e 4º cortes, CAMIOTTI *et al.* (2006a) não encontraram diferenças na produtividade da cana-de-açúcar, adubada com lodo de esgoto + KCL e vinhaça + uréia. No 5º corte, NOGUEIRA *et al.* (2007) concluíram que o lodo ou a vinhaça complementada apresentaram desempenho comparáveis à fertilização mineral.

Outro aspecto a ser considerado no aproveitamento do lodo de esgoto no canavial trata-se das quantidades consideráveis de metais pesados que possam ser acumulados no solo, por meio de aplicações sucessivas deste resíduo, trazendo com isso, uma série de implicações, tanto do ponto de vista ambiental, quanto da qualidade e produtividade da cana. Todavia, considerando-se a legislação vigente, é improvável ocorrer problemas com metais.

MARQUES *et al.* (2007b) estudando a aplicação de quatro doses de lodo de esgoto (0, 10, 20 e 40 t ha⁻¹) da Estação de Tratamento de Esgoto de Suzano-SP, dois níveis de fertilização mineral (50 e 100 % da dose recomendada) e um tratamento adicional testemunha, em um

Argissolo Vermelho, verificaram aumento nas concentrações de Cr, Ni, Pb e Zn no solo (linha e entrelinha) sob cultivo de cana-de-açúcar, sendo, a dose de 40 t ha⁻¹ de lodo de esgoto a que promoveu as maiores concentrações de metais pesados no solo (Figuras 6 e 7). Todavia, os valores encontrados estão abaixo das concentrações máximas aceitáveis de metais pesados nos solos acrescidos de lodo de esgoto, de acordo com as normas da CETESB (2005a). Neste estudo não foram avaliados os teores de metais na cana.

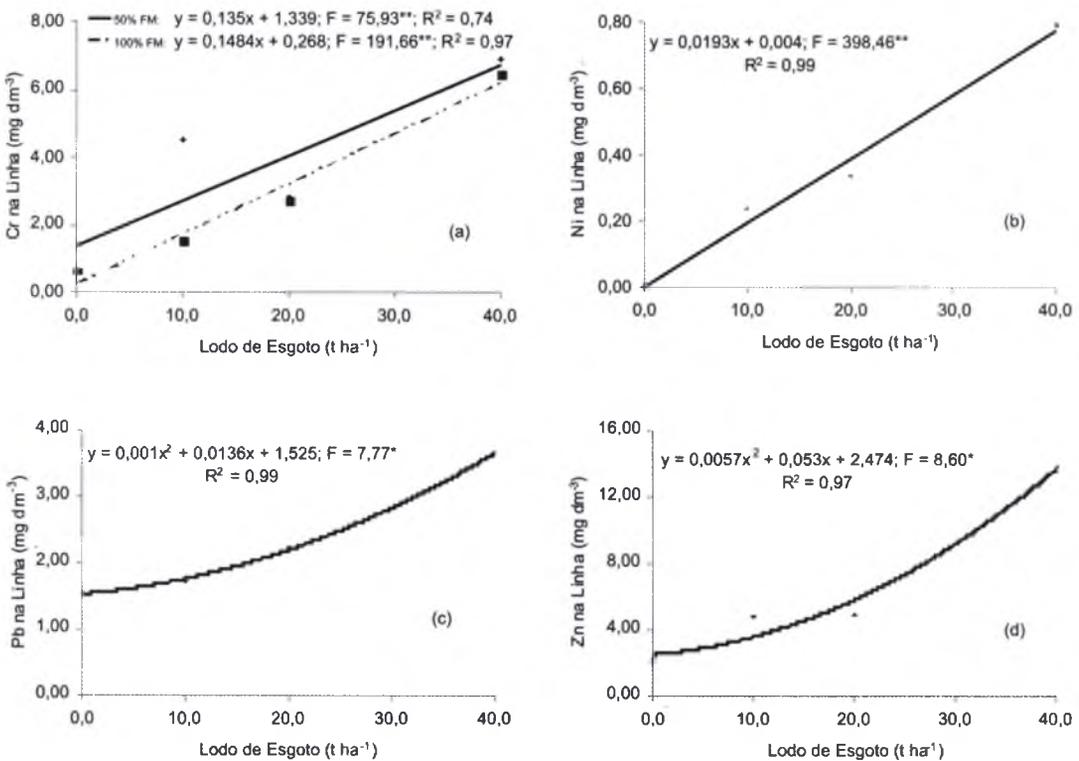


Figura 6 - Concentração de cromo (a), níquel (b), chumbo (c) e zinco (d) na linha de cultivo de cana-de-açúcar cultivada em solo tratado com lodo de esgoto e fertilização mineral.

A baixa ocorrência ou mesmo a ausência de metais nas partes aéreas de plantas de cana-de-açúcar foi relatada por SILVA et al. (2000), os quais, analisando plantas cultivadas em solos que receberam, no ano anterior, lodo de esgoto nas doses de 20; 40 e 80 t ha⁻¹, não detectaram a presença de metais nas partes aéreas das plantas, porém verificaram o acúmulo desses elementos nas raízes. Comportamentos dessa natureza podem ser explicados pelos mecanismos diversos de proteção das plantas aos metais pesados (MARQUES et al., 2002).

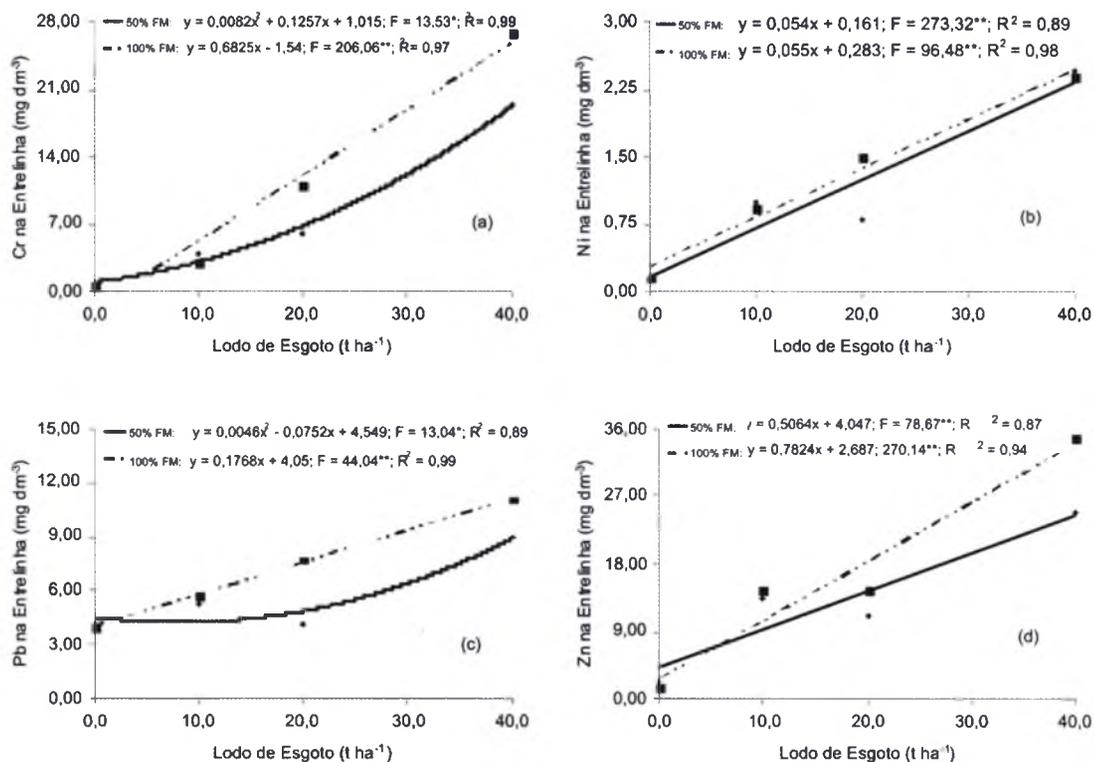


Figura 7 - Concentração de cromo (a), níquel (b), chumbo (c) e zinco (d) na entrelinha de cultivo de cana-de-açúcar cultivada em solo tratado com lodo de esgoto e fertilização mineral.

CAMILLOTI *et al.* (2007) estudando a disponibilidade de metais pesados (Cd, Cr, Ni e Pb) no solo e nas partes (colmos, folhas e palmitos) das plantas de cana-de-açúcar, verificaram que as doses de lodo de esgoto não apresentaram, após três aplicações anuais sucessivas, potencial de contaminação do sistema solo-cana.

Percebe-se que os teores de metais pesados no sistema solo-cana, estão aquém de provocar maiores problemas quanto à produção da cana-de-açúcar e seus derivados. Porém, é de fundamental importância que os níveis de metais pesados sejam avaliados no momento da utilização do lodo de esgoto no canal.

FRANCO *et al.* (2008), aplicando doses de 3,6; 7,2 e 10 t ha⁻¹ de lodo de esgoto (base seca), combinadas com doses de adubos nitrogenado e fosfatado, em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico, verificaram que a produtividade de colmos da cana-planta (TCH) pode ser descrita em função das doses de lodo (L), de fósforo (P) e de nitrogênio (N):

$$TCH (t ha^{-1}) = 58,80 + 5,2 L + 0,17 N + 0,18 P - 0,15 L^2 - 0,0007 N^2 - 0,0006 P^2$$

$$R^2 = 0,82^{**}$$

De acordo com os autores, a aplicação isolada de lodo praticamente dobrou produtividade da cana-planta, ou seja, a produtividade passou de 54,14 t ha⁻¹, no tratamento testemunha, para 105,91 t ha⁻¹, com 10,8 t ha⁻¹ de lodo. No tratamento com adubo mineral, a produtividade foi de 91,10 t ha⁻¹, ou seja, 68% maior que no tratamento testemunha. A

produtividade máxima foi alcançada com a aplicação de 10,8 t ha⁻¹ de lodo e de 115 kg ha⁻¹ de P₂O₅, via fertilizante fosfatado, ou seja, o lodo de esgoto propiciou uma redução no uso de adubo fosfatado de 63%. Na cana-soca, para avaliação do efeito residual da aplicação do lodo na cana-planta, após adubação N-P-K em área total, a produtividade foi função exclusiva das doses de lodo:

$$\text{TCH (t ha}^{-1}\text{)} = 84,02 + 0,90 L$$
$$R^2 = 0,55^*$$

Não foi verificado prejuízo na qualidade tecnológicas da cultura, medida pelo Brix, Pol caldo, Pol cana, pureza, açúcares redutores e açúcares redutores totais, tanto na cana-planta quanto na cana-soca.

O trabalho acima faz parte de pesquisa financiada pela FAPESP, que tem como caráter inédito a determinação de elementos potencialmente tóxicos em todo o sistema solo-cana, incluindo o caldo – produto utilizado para a produção do açúcar e álcool. As amostras de caldo de cana foram submetidas à digestão ácida em ambiente fechado (sistema de microondas) e analisadas pelas técnicas de ativação neutrônica (INAA) e de espectrometria de massa com plasma (ICP-MS). Foram encontradas as seguintes concentrações, em µg kg⁻¹: Ag = 0,2-0,3; As = 1,0-3,3; B = 31-60; Be = 0,4-2,4; Cd = 1,7-14,1; Co = 5,6-16,0; Cr = 12,8-25,4; Cu = 377-610; Eu = 0,3-2,7; Hg = 0,2-4,3; La = 0,5-1,3; Mo = 1,0-4,7; Ni = 26-56; Pb = 18,6-39,5; Sb = 0,3-0,9; Sc = 0,5-1,3; Se = 0,38-0,17; Sm = 0,2-9,4; Th = 0,5-1,4; Tl = 1,9-6,8; V = 4,4-9,3; e, em mg kg⁻¹: Al = 1,9-4,2; Ba = 0,6-1,4; Ca = 86-205; Fe = 5,1-8,0; K = 822-2239; Mg = 193-316; Mn = 7,6-14; Na = 0,3-1,2; P = 58-165; Sr = 0,7-2,0; Zn = 1,7-4,3 (ABREU JUNIOR, et al., 2008).

Para a maioria dos casos, a concentração dos elementos no caldo não foram modificados pela adição do lodo, quando comparado com a fertilização mineral, exceto para Co, Mo, Se, e, principalmente, Cd e Zn, cujas concentrações, à princípio, foram maiores com a aplicação do lodo.

Esta pesquisa de campo encontra-se em fase de conclusão, assim, até o presente momento, não são possíveis maiores considerações, mas futuramente fornecerá subsídios para melhoria do manejo do canavial tratado com lodo e fertilizantes minerais, com maior segurança do ponto de vista ambiental.

Composto de lixo

Uma primeira versão de critérios para uso agrícola de composto de lixo no Estado de São Paulo foi apresentada na Circular Técnica da Embrapa (SILVA et al., 2002b), cujo objetivo foi promover o uso seguro do resíduo orgânico como fertilizante. Nesta Circular, apresenta-se metodologia para o uso do composto de lixo na cana-de-açúcar, além de hortaliças (alface, chicória e rabanete), arroz, feijão, triticale, milho, mandioca e aveia branca, com base no tipo de coleta de lixo, na maturidade do composto e nos fatores de restrição ambiental e de manejo agrícola, de acordo com a cultura.

Na Circular, recomenda-se as seguintes observações para se aplicar adequadamente o composto em solos agrícolas: a) a condutividade elétrica do solo deve estar abaixo de 4 dS m⁻¹; b) o pH do solo deve ser maior que 5,5; c) deve-se dar preferência para o uso de composto proveniente de material orgânico de coleta seletiva, que possivelmente apresentará menores teores de compostos orgânicos tóxicos, patógenos e metais pesados; c) o pH do composto

deve ser maior que 6,5; d) o composto não deve conter inertes como agulhas, lâminas de barbear, pregos, vidros, pilhas; e) as propriedades físicas do solo devem ser monitoradas; f) o nível do lençol freático na área aplicada deve ser superior a 1,5 m; g) a relação C/N do composto deve ser menor ou igual a 18; h) a dose equivalente de nitrogênio a ser aplicada deve ser menor ou igual a 305 kg ha⁻¹; i) os teores de metais pesados no composto devem ser inferiores aos limites, em mg kg⁻¹: Cd = 5, Cu = 500, Cr = 300, Hg = 2, Ni = 100, Pb = 500 e Zn = 1500; j) a carga máxima de metais pesados a ser adicionada ao solo deve ser inferior aos limites, em kg ha⁻¹: Cd=1, Cu=75, Hg=0,5, Ni=15, Pb=15 e Zn=115 e k) deve ser mantida uma distância adequada de habitações, edificações (70 m), vias públicas (15 m) e cursos de águas (200 m).

Para a adubação de plantio da cana-de-açúcar deve-se aplicar o composto de lixo de uma só vez em área total ou no sulco de plantio, de acordo com a análise de solo e os teores de N, P e K do composto de lixo, conforme Tabelas 8 e 9, respectivamente (SILVA et al., 2002b). Alternativamente, pode-se estimar a dose de composto de lixo com base no quociente entre a demanda de N pela cultura da cana, que é em torno de 90 kg ha⁻¹ de N (RAIJ et al., 1997), e a quantidade de N adicionada pelo composto, considerando-se uma eficiência de aproveitamento de 40 a 50% do nutriente, ou seja, o teor de N-total do composto multiplicado pelo fator de 0,4 a 0,5.

Na cana-soca, a resposta ao composto de lixo deve-se mais ao P e em menor frequência ao K contido no material. Na prática, o mais usual é a aplicação de 60 t ha⁻¹, sem suplementação de P, ou 30 t ha⁻¹, com complementação da metade da dose de P recomendado para a cultura da cana (SILVA et al., 2002b).

Em algumas situações, observa-se que o composto de lixo potencializa a produtividade da cana-de-açúcar, mesmo em área já adubada com N, P e K, devido a um efeito positivo na retenção hídrica pela matéria orgânica adicionada ao solo e pelo fornecimento de micronutrientes, proporcionando produtividade superior do que aquela causada pelo uso dos fertilizantes químicos (KIEHL, 1985).

Tabela 8 - Recomendação de uso de composto de lixo urbano na cultura de cana-de-açúcar¹, com base na interpretação dos teores de fósforo e de potássio, obtidos pela análise química de solo, e na composição do composto de lixo.

Composição do composto de lixo		P resina, mg dm ⁻³				K ⁺ trocável, mmol _c dm ⁻³		
		0-6	7-15	16-40	> 40	0-1,5	1,6-3,0	> 3,0
Nutriente %		dose de composto, t ha ⁻¹						
P %	> 0,6	15	10*	5*	-	-	-	-
	0,2 a 0,6	30	20	15	10*	-	-	-
	< 0,2	50	35	25	10*	-	-	-
K %	> 1,2	-	-	-	-	15	10*	5*
	0,4 a 1,2	-	-	-	-	20	15	10*
	< 0,4	-	-	-	-	50	30	20

¹Produtividade esperada de 80 a 120 t ha⁻¹.

*Para doses de composto de 10 t ha⁻¹ ou menos, o efeito do composto se deve mais ao fornecimento de matéria orgânica e não mais ao suprimento de P e K.

Fonte: Silva et al. (2002b).

Tabela 9 - Recomendação de adubação para cana-de-açúcar com base no nitrogênio do composto de lixo.

Teor de nitrogênio no composto de lixo, em %	Dose de composto, em t ha ⁻¹
> 3,5	20
1,8 a 3,5	30
< 1,8	45

Fonte: Silva et al. (2002b).

Um importante efeito da adição de composto ao solo é o de modificar a dinâmica de nutrientes por aumentar a atividade e a biomassa microbiana do solo, tornando-a mais ativa por longos períodos após a incorporação deste resíduo (ABREU JUNIOR et al., 2002). As interações entre os microrganismos do solo e o material orgânico adicionado podem ser resumidas da seguinte maneira: decompõe os compostos orgânicos; participam nos ciclos do nitrogênio, fósforo e enxofre; atuam nas reações que influenciam a disponibilidade de nutrientes (OLIVEIRA, 2000; ABREU JUNIOR et al., 2000; 2001; 2002).

No solo, aumentos na disponibilidade de matéria orgânica (MO), nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), elevação dos valores de pH e da CTC e a redução da acidez total ($H^+ + Al^{3+}$) são os principais efeitos da aplicação desse material (MAZUR et al., 1983a, b; SILVA, 1999; MARCHIORI, 2000; OLIVEIRA, 2000; ABREU JUNIOR et al., 2000, 2001, 2002; OLIVEIRA et al., 2002).

Um dos primeiros trabalhos sobre o uso de composto de lixo em cana-de-açúcar no Brasil, em campo, foi o de SILVA (1999). O experimento foi realizado em um Argissolo Vermelho eutrófico, com doses de composto, de 0, 30, 60 e 90 kg ha⁻¹, combinadas com 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 120 kg ha⁻¹ de K₂O, e comparadas com aplicação de 600 kg ha⁻¹ da fórmula 4-20-20, ou seja, 24 kg ha⁻¹ de N, 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 120 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente. Verificou-se melhoria da fertilidade do solo em função das doses de composto, com incrementos lineares de P e K no solo e no caldo da cana. A aplicação do composto aumentou a produtividade de colmos de modo linear: 70, 78, 98 e 103 t ha⁻¹, respectivamente; não obstante o tratamento NPK tenha produzido 121 t ha⁻¹. Não houve atraso na maturação da cana-de-açúcar pela aplicação do composto; entretanto, a combinação do composto com P e/ou K proporcionou melhor acúmulo de açúcar nos colmos.

Posteriormente, OLIVEIRA (2000) avaliou o efeito composto de lixo aplicado nas doses de 0, 20, 40 e 60 t ha⁻¹, na cana-planta, e da reaplicação de 0, 24, 48 e 72 t ha⁻¹, na cana-soca. Foi constatado que a produtividade da cana-planta foi crescente com as doses de composto, variando de 35 a 64 t ha⁻¹, comparada com 54 t ha⁻¹ devido à adubação NPK, sendo que a produtividade geral foi baixa em virtude da escassez de chuva durante o experimento. Já, na cana-soca, cultivo quando ocorreu boa distribuição de chuvas, não houve diferença entre as doses de 24, 48 e 72 t ha⁻¹ de composto e delas com a adubação NPK, cujas produtividades foram da ordem de 140 t ha⁻¹, contra 100 t ha⁻¹ na testemunha absoluta.

Uma das grandes preocupações na aplicação de composto de lixo no solo deve ser a alta mobilidade do íon nitrato, pois doses elevadas do composto podem contribuir para os problemas de eutrofização de águas de superfície, como lagos e rios, e de contaminação de águas subterrâneas, as quais muitas vezes são a principal ou a única fonte de água potável de grandes populações.

OLIVEIRA et al. (2002), aplicando em área total, doses equivalentes a 20, 40 e

60 t ha⁻¹ de composto, base seca, na cana-de-açúcar, verificaram que o composto aumentou a concentração de N-NO³⁻ na solução do solo a 0,3, 0,6 e 0,9 m de profundidade. Nas doses 40 e 60 t ha⁻¹ do resíduo, o teor do nitrato na profundidade de 0,9 m apresentou concentrações de 10,51 a 20,93 mg L⁻¹ e 24,31 a 46,25 mg L⁻¹, respectivamente; portanto acima do limite máximo para a qualidade da água potável estabelecido pela Organização Mundial de Saúde (10 mg L⁻¹). As perdas de nitrogênio determinadas para camada 0 a 0,9 m evidenciaram o potencial poluente do fertilizante mineral e do composto. Por outro lado, doses anuais de até 24 t ha⁻¹ de composto não ofereceram riscos de contaminação de aquíferos. Pelo exposto verifica-se que os riscos devidos à percolação de N-NO³⁻ devem ser considerados no planejamento de aplicações do composto oriundo de resíduo sólido em áreas agrícolas e, neste caso, o monitoramento do solo e de sua solução em profundidade é essencial para se evitar riscos à qualidade das águas subterrâneas.

No experimento acima, avaliou-se também o efeito das aplicações sucessivas do composto de lixo urbano sobre a movimentação, em profundidade, dos metais Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn em um Latossolo Amarelo distrófico. Não se observou nenhuma evidência de movimentação dos metais ao longo do perfil do solo, exceto para o Zn, que apresentou mobilidade no solo. Para este elemento, verificou-se, ao final de do ciclo da cana-soca, incrementos significativos até a camada de 0,4-0,6 m de profundidade (OLIVEIRA et al., 2002).

ROSSETTO et al. (2002) estudaram o uso do composto de lixo na cultura da cana, nas doses de 0, 10, 20 e 40 t ha⁻¹, base seca, com quatro doses de N-uréia (0, 25, 50 e 75 kg ha⁻¹) e quatro doses de superfosfato triplo (0, 28, 56 e 112 kg ha⁻¹ de P₂O₅). O N isoladamente não teve efeito na produtividade, mas as doses de composto e de superfosfato tiveram efeitos linear e quadrático, respectivamente, sobre a produtividade. Por meio de modelo matemático, estimou-se que a produtividade máxima foi obtida com a aplicação de 35 t ha⁻¹ do composto, combinado com 56 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e de 120 kg ha⁻¹ de K₂O.

SILVA et al. (2002a) estudaram o efeito complementar do composto de lixo à adubação NPK, com 500 kg ha⁻¹ de 4-20-20 (24 kg ha⁻¹ de N, 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 120 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente), na produção da cana-planta, variedade 72454. O composto foi aplicado nas doses de 10, 20, 30, 40 e 50 t ha⁻¹. Verificou-se que a maturação da cana-de-açúcar não foi alterada até a dose de 30 t ha⁻¹ de composto e que a produtividade de colmos aumentou linearmente com as doses de composto, aproximadamente 120 t ha⁻¹ com aplicação do adubo NPK + 50 t ha⁻¹ do composto, o que refletiu na maior produtividade de açúcar por hectare (Figura 8).

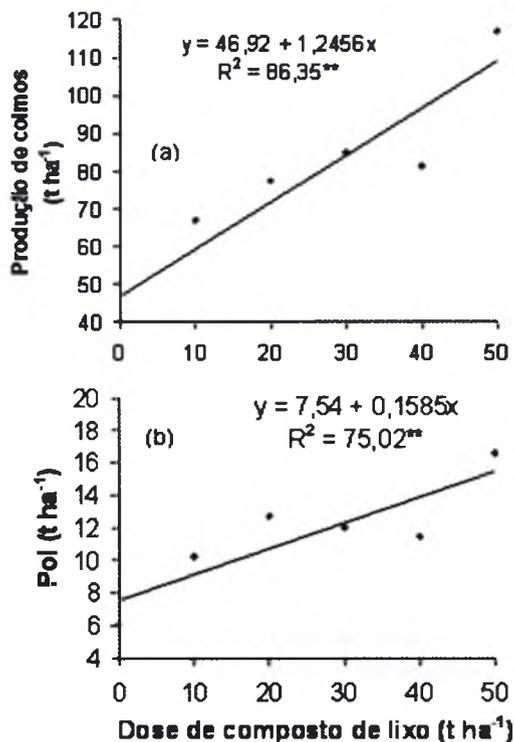


Figura 8 - Efeito da aplicação de composto de lixo sobre a produtividade de colmos (a) e de açúcar (b) de cana-planta tratada com composto de lixo, em complementação à adubação NPK (500 kg ha⁻¹ da fórmula 4-20-20). (Fonte: SILVA et al., 2002a)

Quanto a dinâmica de metais no sistema composto-solo-cana, SILVA et al. (2007) realizaram um estudo utilizando de modelagem matemática para estabelecer critérios e procedimentos para o uso seguro do composto no canavial. Foram construídos modelos compartimentais a partir de dados de experimentos em condições controladas e parcialmente validados com dados de campo, para Cd, Cu, Ni e Pb, considerando os compartimentos: M1 – elemento disponível no solo, M2 – elemento absorvido pela raiz da cana-de-açúcar, e M3 – elemento na parte aérea da cana-de-açúcar. Constatou-se que: 1) a transferência dos metais para a raiz da cana e posterior acúmulo na parte aérea da planta, de modo geral, foi lenta, em função do poder tampão do solo, ou seja, dos valores de pH e dos teores de argila, de óxidos de ferro e de matéria orgânica; e 2) o metal mais preocupante foi o níquel (Ni) oriundo do composto, pois o metal demora, aproximadamente, três anos para retornar ao valor original de disponibilidade no solo, após adição do composto, e, portanto, há um maior acúmulo de Ni na parte aérea da cana, cerca de 99% do total adicionado pelo composto.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aproveitamento agrícola de resíduos no canalial apresenta uma série de vantagens econômicas e ambientais que, concomitantemente com o comprometimento técnico-científico e o respaldo da legislação atual para obtenção e fiscalização de fertilizantes orgânicos, assim como de lodo de esgoto, de boa qualidade e preservação do ambiente agrícola (processos tecnológicos de produção e de manejo agrícola adequados) e de políticas públicas e privadas bem definidas, tornarão a prática cada vez mais promissora e segura.

Dentre as vantagens econômicas pode-se citar: a diminuição ou mesmo eliminação da necessidade da aplicação de corretivos e de fertilizantes minerais, principalmente do N, do P e do Zn, para o lodo de esgoto; do N e do K, para o composto de lixo; do K, para a vinhaça etc. A substituição total ou parcial dos corretivos e dos fertilizantes irá depender do tipo e da dose empregada do resíduo. O emprego desses materiais também promove uma melhoria no ambiente radicular por meio do aumento na atividade biológica, aeração, CTC, pH, na retenção de água, com a redução de doenças, pragas e mato. Com relação às vantagens ambientais, reciclam-se no solo agrícola o carbono e os nutrientes que não foram aproveitados no processo industrial ou na alimentação humana, seres humanos, dando a esses elementos uma nova chance de serem reabsorvidos pelas plantas.

Por fim, cabe ao setor sucroalcooleiro juntamente com as instituições de pesquisa e as universidades, aprimorarem as técnicas de aproveitamento de resíduos no canalial, de forma a evitar a degradação do ambiente, e garantir a qualidade da matéria-prima e a produtividade da cana-de-açúcar no Brasil.

Para o Brasil, cabe salientar, que houve um grande progresso na legislação ambiental com a normatização de uso de resíduos, no período de 2005-2006, contribuindo significativamente para a imagem de uma agricultura brasileira sustentável e da garantia intrínseca da qualidade do produto agrícola brasileiro.

LITERATURA CITADA

- ABREU JUNIOR, C.H.; MURAOKA, T.; LAVORANTE, A.F.; ALVAREZ V., F.C. Condutividade elétrica, reação do solo e acidez potencial em solos adubados com composto lixo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 635-647, 2000
- ABREU JUNIOR, C.H.; MURAOKA, T.; OLIVEIRA, F.C. Cátions trocáveis, saturação por bases e capacidade de troca de cátions em solos brasileiros adubados com composto se lixo urbano **Scientia Agricola**, v. 58, p. 813-824, 2001.
- ABREU JUNIOR, C.H.; MURAOKA, T.; OLIVEIRA, F.C. Carbono orgânico, nitrogênio, fósforo e enxofre em solos tratados com composto de lixo urbano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 769-780, 2002.
- ABREU JUNIOR, C.H.; BOARETTO, A.E.; MURAOKA, T.; KIEHL, J.C. Uso agrícola de resíduos orgânicos: propriedades químicas do solo e produção vegetal. In: VIDAL-TORRADO, P.; ALLEONI, L.R.F.; COOPER, M.; SILVA, A.P.; CARDOSO, E.J. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 4, p. 391-470, 2005a.
- ABREU JUNIOR, C.H.; OLIVEIRA, F.C.; BERTON, R.; SILVA, F.C. Uso de resíduos orgânicos no pomar. In: MATTOS JUNIOR, D.; DE NEGRI, J.D.; PIO, R.M.; POMPEU JUNIOR, J. (Org.). **Citros**. Campinas: Instituto Agronômico e Fundag, 2005b. p. 871-896.

- ABREU JUNIOR, C.A.; FRANCO, A.; RIBEIRO, A.C.S.; ARMELIN, M.J.A.; SAIKI, M. FERNANDES, H.M.G. Brazilian sugar cane juice obtained from cropland treated with domestic sewage sludge: characterization by INAA and ICP-MS. INTERNATIONAL CONFERENCE ON ANALYTICAL METHODS IN THE LIFE SCIENCES, 9. *Anais...* Lisboa, Portugal, 2008. (CD-ROM)
- ACCIOLY, A.M.A.; SIQUEIRA, J.O. Contaminação química e biorremediação do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 1, p. 299-352, 2000.
- ALOISI, R.R.; DEMATTÊ, J.A.M.; FIORIO, P.R. A aplicação de resíduos da indústria cítrica em três solos de São Paulo e o crescimento de milho em casa de vegetação. **Laranja**, v. 22, p. 533-548, 2001.
- ANDREOLI, I. Efeitos da vinhaça em algumas propriedades químicas e físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro textura média. 1986. 85 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos sólidos**. ABNT, 1987a. 63p. NBR 10004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Lixiviação de resíduos**. ABNT, 1987b. 7p. NBR 10005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solubilização de resíduos**. ABNT, 1987c. 2p. 10006
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Amostragem de resíduos**. ABNT, 1987d. 14p e NBR 10007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores**. ABNT, 1987e. 23p. NBR 9897.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores**. ANBT, 1987f. 34p. NBR 9898.
- BARBOSA, G.M.C.; TAVARES FILHO, J.; FONSECA, I.C.B. Avaliações de propriedades físicas de um Latossolo Vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto por dois anos consecutivos. **Sanare**, v. 17, p. 94-101, 2002.
- BARBOSA, V. Novas tecnologias no uso da vinhaça e aspectos legais. In: MARQUES, M.O.; MUTTON, M.A.; AZANIA, A.A.P.M.; TASSO JUNIOR, L.C.; NOGUEIRA, G.A.; VALE, D.W. **Tópicos em tecnologia sucroalcooleira**. Jaboticabal: Gráfica Multipress Ltda, 2006. p. 141-150.
- BASSO, C.A. **Caracterização química de compostos de lixo urbano de usinas de compostagem dos municípios de São Paulo e de São José dos Campos**. 2004. 104 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.
- BATAGLIA, O.C.; CAMARGO, O.A.; BERTON, R.S. Emprego da vinhaça na cultura de citros. **Laranja**, v. 7, p.277-289, 1986.
- BERTON, R.S.; VALADARES, J.M.A.S. Potencial agrícola do composto de lixo urbano no Estado de São Paulo. **O Agrônomo**, v. 4, p. 87-93, 1991.
- BETTIOL, W.; CARVALHO, P.C.T.; FRANCO, B.J.D.C. Utilização do “resíduo orgânico” como fertilizante. **O Solo**, v. 75, p.44-54, 1983.
- BRASIL. Instrução Normativa SDA Nº 23, de 31 de agosto de 2005. **Diário Oficial da União**, Brasília, 08 de setembro de 2005.
- BRASIL. Instrução Normativa SDA Nº 27, de 05 de junho de 2006. **Diário Oficial da União**, Brasília, 09 de junho de 2006.
- BUZOLIN, P.R.S. **Efeitos da palha residual da colheita mecanizada, associada a fontes de potássio e doses de nitrogênio, no solo e nas socas de cana-de-açúcar**. 1997. 98 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1997.
- CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S.; GERALDI, R.N. **Características químicas e físicas de solo que recebeu vinhaça por longo tempo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 30p. (Boletim Técnico, 76)
- CAMILOTTI, F.; ANDRIOLI, I.; DIAS, F.L.F.; CASAGRANDE, A.A.; SILVA, A.R.; MUTTON, M.; CENTURION, J.F. Efeito prolongado de sistemas de preparo do solo com e sem cultivo de soqueira de cana crua em algumas propriedades físicas do solo. **Engenharia Agrícola**, v. 25, p. 189-98, 2005.
- CAMILOTTI, F.; ANDRIOLI, I.; MARQUES, M.O.; SILVA, A.R.; TASSO JUNIOR, L.C.; NOBILE, F.O.; NOGUEIRA, G.A.; PRATI, F. Produtividade e qualidade agroindustrial da cana-de-açúcar cultivada com lodo de esgoto, vinhaça e adubos minerais. **STAB: Açúcar, Alcool e Subprodutos**, v. 24, p. 32-55, 2006a.
- CAMILOTTI, F.; ANDRIOLI, I.; MARQUES, M.O.; SILVA, A.R.; TASSO JUNIOR, L.C.; NOBILE, F.O. Atributos físicos de um latossolo cultivado com cana-de-açúcar após aplicações de lodo de esgoto e vinhaça. **Engenharia Agrícola**, v. 26, p. 738-747, 2006b.
- CANELLAS, L.P.; VELLOSO, A.C.X.; MARCIANO, C.R.; RAMALHO, J.F.G.P.; RUMJANEK, V.M.; REZENDE, C.E.; SANTOS, G.A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**,

- v. 15, p. 935-944, 2003.
- CHIBA, M.K. **Uso de lodo de esgoto na cana-de-açúcar como fonte de nitrogênio e fósforo: parâmetros de fertilidade do solo, nutrição da planta e rendimentos da cultura.** 2005. 142 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.
- CÓ JUNIOR, C.; MARQUES, M.O.; TASSO JUNIOR, L.C. Efeito residual de quatro aplicações anuais de lodo de esgoto e vinhaça na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v. 28, p. 196-203, 2008.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTACIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da Safra Brasileira de Cana-de-Açúcar – safra 2007/2008.** Brasília: Conab, 2007. 12p.
- COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ. **Manual técnico para utilização agrícola de “resíduo orgânico” no Paraná.** Curitiba: SANEPAR, 1997. 96p.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. CETESB. **Critérios para aplicação de biossólidos em áreas agrícolas: critérios para projeto e operação. Manual Técnico P 4.230,** São Paulo: CETESB, 1999a. 32p.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. CETESB. **Lodos de curtumes – critérios para o uso em áreas agrícolas e procedimentos para apresentação de projetos. Manual Técnico P 4.233.** São Paulo: CETESB, 1999b. 35p.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. **Decisão de Diretoria nº 195-2005-E.** São Paulo, 2005a.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. CETESB. **Vinhaça: critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola.** (Norma Técnica P 4.231). São Paulo, 2005b.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. CONAMA. Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>>. Acesso em: 5 dezembro 2007.
- CRAVO, M.S.; MURAOKA, T.; GINÉ, M.F. Caracterização química de compostos de lixo urbano de algumas usinas brasileiras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 547-553, 1998.
- DEMATTE, J.L.I. O uso agrônomico de resíduos x fertilizantes na cultura da cana-de-açúcar. In: DECHEN, A.R.; BOARETTO, A.E.; VERDADE, F.C. (Coords). REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20., Piracicaba, 1992. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1992. p. 213-251.
- EGREJAFILHO, F.B.; REIS, E.L.; JORDÃO, C.P.; PEREIRANETO, J.T. Avaliação quimiométrica da distribuição de metais pesados em composto de lixo urbano. **Química Nova**, v. 22, p. 324-328, 1999.
- FIGUEIREDO, P.A.M. **Efeitos da vinhaça e de sua complementação nitrogenada e biológica no palhicho, no solo e na cana-de-açúcar.** 2000. 77 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.
- FRANCO, A. **Cana-de-açúcar cultivada em solo adubado com lodo de esgoto e vinhaça: nitrogênio no sistema solo-planta, produtividade e características tecnológicas.** 2003. 90 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2003.
- FRANCO, A.; ABREU JUNIOR, C.A.; RIBEIRO, A.C.S.; BRAGA, V.S.; FIRME, L.P.; MALDONADO, C.B.; FERNANDES, H.M.G. Lodo de esgoto na cultura da cana-de-açúcar como fonte de nitrogênio e fósforo: produtividade e características tecnológicas. CONGRESSO IBEROAMERICANO DE FÍSICA Y QUÍMICA AMBIENTAL, 5., **Anais...** Mar del Plata, Argentina, 2008. (CD-ROM)
- GLÓRIA, N.A.; ORLANDO FILHO, J. **Aplicação de vinhaça como fertilizante.** São Paulo: COPERSUCAR, 1983. 38p. (Boletim Técnico).
- GLÓRIA, N.A. Uso agrônomico de resíduos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 22., Piracicaba, 1992. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1992. p. 195-212.
- HASSUDA, S. **Impactos da infiltração da vinhaça de cana no aquífero Bauru.** 1989. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.
- KIEHL, E.J. **Fertilizantes Orgânicos.** Piracicaba: Editora Agronômica Ceres, 1985. 492p.
- KORNDÖFER, G.H. Importância da adubação na qualidade da cana-de-açúcar. In: SÁ, M.E.; BUZZETTI, S. (Coord.). **Importância da adubação e qualidade dos produtos agrícolas.** São Paulo: Ícone, 1994. p. 133-142.
- LUZ, P.H.C. Novas tecnologias no uso da vinhaça e alguns aspectos legais. In: **II SIMPÓSIO DE TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR.** Disponível em: [http://www.potafos.org/ppiweb/pbrasil.nsf/926048f0196c9d4285256983005c64de/6d4452a7dc2e1483032570d8003f1509/\\$FILE/Anais%20Pedro%20](http://www.potafos.org/ppiweb/pbrasil.nsf/926048f0196c9d4285256983005c64de/6d4452a7dc2e1483032570d8003f1509/$FILE/Anais%20Pedro%20)

Henrique%20de%20C%20Luz.pdf. Acesso em: 24 maio 2008.

- MARCHIORI, A.C.C. **Avaliação de agroecossistemas do cinturão verde da grande São Paulo que receberam aplicação de composto de resíduos sólidos por longos períodos**. 2000. 185 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 2000.
- MARQUES, M.O. **Efeito da aplicação de lodo de esgoto na produtividade e qualidade da cana-de-açúcar**. 1990. 164 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.
- MARQUES, M.O.; MELO, W.J.; MARQUES, T.A. Metais pesados e o uso de biossólido na agricultura. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; ALÉM SOBRINHO, P.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J.; MARQUES, M.O. **Biossólidos na agricultura**. 2. ed. São Paulo: ABES/SP, 2002. p. 365-403.
- MARQUES, M.O.; BELLINGIERI, P.A.; MARQUES, T.A.; NOGUEIRA, T.A.R. Qualidade e produtividade da cana-de-açúcar cultivada em solo com doses crescentes de lodo de esgoto. **Bioscience Journal**, v. 23, p. 111-122, 2007a.
- MARQUES, M.O.; NOGUEIRA, T.A.R.; FONSECA, I.M.; MARQUES, T.A. Teores de Cr, Ni, Pb e Zn em Argissolo Vermelho tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-açúcar. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 7, p. 133-143, 2007b.
- MAZUR, N.; SANTOS, G.A.; VELLOSO, A.C.X. Efeito do composto de resíduo urbano na disponibilidade de fósforo em solos ácidos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 7, p.153-156, 1983a.
- MAZUR, N.; VELLOSO, A.C.X.; SANTOS, G.A. Efeito do composto de resíduo urbano no pH e alumínio trocável em solos ácidos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 7, p. 157-159, 1983b.
- MELO, W.J.; MARQUES, M.O.; SILVA, F.C.; BOARETTO, A.E. Uso de resíduos sólidos urbanos na agricultura e impactos ambientais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. **Anais...** Rio de Janeiro: SBCS, EMBRAPA, 1997.
- MELO, V.P.; BEUTLER, A.N.; SOUZA, Z.M.; CENTURION, J.F.; MELO, W.J. Atributos físicos de Latossolos adubados durante cinco anos com biossólido. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 67-72, 2004.
- NASCIMENTO, C.W.A.; BARROS, D.A.S.; MELO, E.E.C.; OLIVEIRA, A.B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 385-392, 2004.
- NOGUEIRA, T.A.R.; SAMPAIO, R.A.; FERREIRA, C.S.; FONSECA, I.M. Produtividade de milho e de feijão consorciados adubados com diferentes formas de lodo de esgoto. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 6, p. 122-131, 2006.
- NOGUEIRA, T.A.R.; MARQUES, M.O.; FONSECA, I.M.; MENDONÇA, L.Q.H. Nutrientes em cana-de-açúcar de 5º corte cultivada em solo tratado com lodo de esgoto e vinhaça por quatro anos consecutivos. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 7, p. 7-19, 2007.
- OLIVEIRA, F.C. **Disposição de "resíduo orgânico" e composto de lixo urbano num latossolo vermelho-amarelo cultivado com cana-de-açúcar**. 2000. 247 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.
- OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E.; MARCIANO, C.R.; ABREU JR., C.H. Movimentação de metais pesados em Latossolo adubado com composto de lixo urbano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 1787-1793, 2002.
- ORLANDO FILHO, J.; BITTENCOURT, V.C.; ALVES, M.C. Aplicação de vinhaça em solo arenoso do Brasil e poluição do lençol freático com nitrogênio. **STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v. 13, p. 14-16, 1995.
- PENATTI, C.P.; FORTI, J.A. Adubação nitrogenada em soqueiras de cana-de-açúcar – Resultados preliminares. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 6., 1994, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba. Copersucar, 1994, p. 99-104.
- PENATTI, C.P.; FORTI, J.A. Doses de vinhaça versus doses de nitrogênio em cana-soca. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 7., 1997. São Paulo. **Anais...** São Paulo. 1997. p. 328-339.
- PENATTI, C.P.; ARAÚJO, J.V.; FORTI, J.A.; RIBEIRO, R. Doses de vinhaça e nitrogênio aplicadas em cana-soca durante quatro safras em solo LV – Usina São José da Estiva. **STAB. Açúcar e Álcool e subprodutos**, v. 19, p. 38-41, 2001.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2ª ed. rev.atual. Campinas: Instituto Agronômico, 1997. 285p. (Boletim Técnico 100)
- ROBAINA, A.A. Doses e complementação mineral da vinhaça em soca de cana-de-açúcar. **Brasil Açucareiro**, v. 101, p. 26-33, 1983.
- ROSSETTO, R.; BERTON, R.S.; LANDELL, M.G.A.; MATTIAZZO, M.E. Produtividade e nutrientes na cana-

- de-açúcar em solo tratado com composto de Lixo Urbano. **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v. 20, p. 28-31, 2002.
- SILVA, A.F.S. **Influência da aplicação de composto de lixo urbano na cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) e na fertilidade do solo**. 1999. 70 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.
- SILVA, A.F.S.; SILVA, F.C.; CESAR, M.A.A.; BERGAMASCO, A.F. Avaliação do efeito complementar da aplicação de composto de lixo em área adubada com fertilizantes NPK em cana-planta. **Anais CNSTAAB, STAB**, p. 288-293. 2002a.
- SILVA, F.C.; BOARETTO, A.E.; BERTON, R.S.; ZOTELLI, H.B.; PEXE, C.A.; BERNARDES, E.M. Cana-de-açúcar cultivada em solo adubado com lodo de esgoto: nutrientes, metais pesados e produtividade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, p. 1-8, 1998.
- SILVA, F.C.; FANTE JUNIOR, L.; PILOTTO, J.E.; RODRIGUES, J.A.; BOARETTO, A.E.; OLIVEIRA, J.C.M.; BERTON, R.S.; ZOTELLI, H.B. Evaluating the residual effects of sludge in root distribution an heavy metals in sugar cane crop. **International Sugar Journal**, v. 102, p. 424-30, 2000.
- SILVA, F.C.; BOARETTO, A.E.; BERTON, R.S.; ZOTELLI, H.B.; PEXE, C.A.; BERNARDES, E.M. Efeito de lodo de esgoto na fertilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 831-840, 2001.
- SILVA, F.C.; BERTON, R.S.; CHITOLINA, J.C.; BALLESTERO, S.D. **Recomendações técnicas para o uso agrícola do composto de lixo urbano no Estado de São Paulo**. Campinas: Embrapa Informática e Agropecuária, 2002b. (Circular técnica 3).
- SILVA, F.C.; BERGAMASCO, A.F.; VENDITE, L.L. Modelos de transferência de metal pesado na cana-de-açúcar adubada com composto de lixo urbano. **Engenharia Agrícola**, v. 27, p. 119-128, 2007.
- SIVIERO, A.R.; ANGELIS, D.F. Avaliação da toxicidade do resíduo da indústria cítrica quando aplicado no solo. **Laranja**, v. 16, p. 73-90, 1995.
- TASSO JÚNIOR, L.C.; MARQUES, M.O.; FRANCO, A.; NOGUEIRA, G.A.; NOBILE, F.O.; CAMIOTTI, F.; DA SILVA A.R. Produtividade e qualidade de cana-de-açúcar cultivada em solo tratado com lodo de esgoto, vinhaça e adubos minerais. **Engenharia Agrícola**, v. 27, p. 276-283, 2007.
- TEIXEIRA, C.D.A. **Adubação nitrogenada e potássica em cana-soca, em dois solos do estado do Paraná**. 2005. 56 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. USEPA. Title 40 CFR – Part 503. Final rules: Standards for the use or disposal of sewage sludge. **Federal Register**, v. 58, n. 32, p. 9387-9415, 1993.