

UTILIZAÇÃO AGRÍCOLA DE COMPOSTO DE RESÍDUO SÓLIDO URBANO

Cássio Hamilton Abreu Junior
Adriana M. M. Pires
Aline Renee Coscione

RESUMO

A geração de lixo urbano é e continuará sendo um problema crescente, enquanto a civilização humana persistir. O gerenciamento adequado desse resíduo sempre será um problema atual, caro e desafiador, colocando em confronto os reguladores ambientais, as autoridades locais e o bem-estar da população. A reciclagem do lixo inorgânico (metal, papel, plástico, vidro etc.) e a compostagem da fração orgânica para uso agrícola são opções viáveis e sócio-ambientalmente corretas. A qualidade do composto de resíduo sólido urbano, conseqüentemente, de seus efeitos benéficos ao solo e às plantas, está intrinsecamente ligada à realização de processos adequados de compostagem do material orgânico e à coleta seletiva do lixo. Para garantir a qualidade do composto, viabilizando seu uso na agricultura, deve-se estimular a coleta seletiva. O composto de resíduo sólido urbano de qualidade, quando aplicado de modo técnico na agricultura, melhora as propriedades biológicas, químicas e físicas do solo, e fornece nutrientes aos vegetais, podendo substituir em parte ou no todo o adubo mineral, promovendo a produtividade agrícola com qualidade sócio-econômico-ambiental.

INTRODUÇÃO

A pesquisa e a prática têm demonstrado que a destinação final do lixo urbano em aterro, mesmo que esse seja considerado adequado, não é a melhor opção sob o ponto de vista social, econômico e ambiental. A coleta seletiva é imprescindível na gestão do lixo urbano, pois garante que a separação da fração orgânica e de inertes seja eficiente. Materiais como vidro, papel, papelão, material ferroso e plástico devem ser reciclados. A fração orgânica, por sua vez, pode ser tratada por meio do processo de compostagem, tendo como produto final um material orgânico humificado, denominado de composto de resíduo sólido urbano (CRSU) e popularmente conhecido como composto de lixo, que apresenta grande potencial de utilização na agricultura.

O potencial do uso do CRSU na agricultura brasileira está fundamentado no elevado teor de carbono orgânico e de alguns nutrientes que o composto apresenta, além de promover aumento da capacidade de troca de cátions (CTC) e neutralização da acidez do solo. Esses efeitos podem resultar em melhorias nas propriedades físicas e químicas e nos processos biológicos do solo, em incrementos na produtividade e qualidade dos produtos agrícolas e na redução dos custos de produção. Não obstante aos benefícios, quando a fração orgânica não for devidamente separada e/ou o material orgânico for mal compostado, o CRSU poderá apresentar potencial poluidor ou contaminante ao ambiente agrícola, pois o composto poderá conter elementos inorgânicos ou compostos orgânicos potencialmente tóxicos e/ou agentes patogênicos.

Todavia, o uso racional de composto de lixo na agricultura, amparado por regulamentações, por programas voluntários de controle de qualidade e por pesquisas pertinentes, poderá contribuir significativamente para incrementos de produtividade, de qualidade do ambiente agrícola e de lucros para o produtor rural.

O PORQUÊ DO USO AGRONÔMICO DO COMPOSTO DE LIXO

Das práticas de destinação final de resíduo sólido urbano, destaca-se a compostagem da fração orgânica para a produção de adubo e reciclagem dos nutrientes nela contidos (Berton e Valadares, 1991; Mello et al., 1997; Cravo, Muraoka e Giné, 1998; Abreu Jr., 1999; Basso, 2004).

O CRSU é um resíduo de composição predominantemente orgânica, resultante de processos de decomposição aeróbia e termofílica da fração orgânica do lixo doméstico por comunidades microbianas quimiorganotróficas existentes no próprio lixo, transformando-se, então, em fertilizante orgânico (Abreu Jr. et al., 2005a, 2005b, 2008). Os compostos não orgânicos ou materiais inertes recicláveis como plástico, vidro, metal, papel e papelão, devem ser previamente retirados (Kiehl, 1985; Oliveira, 2000), sendo a coleta seletiva do lixo essencial para a redução dos teores de elementos inorgânicos potencialmente tóxicos no composto (Basso, 2004; Abreu Jr. et al., 2005a).

A aplicação de composto de lixo, devidamente maturado em solos cultivados, tem apresentado efeitos desejáveis do ponto de vista agrônomo. Os principais efeitos deste material ao solo consistem em aumentos no teor de matéria orgânica, na disponibilidade de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio e no valor de pH, além de redução da acidez total ($H^+ + Al^{3+}$) (Kiehl, 1985; Peixoto, Franco e Almeida, 1987; Ferreira e Cruz, 1992; Melo et al., 1997; Abreu Jr., 1999; Abreu Jr. et al., 2000; Marchiori, 2000; Oliveira, 2000; Abreu Jr., Muraoka e Oliveira, 2001).

A composição química do CRSU varia amplamente de acordo com as regiões onde esse foi produzido, refletindo o nível sócio-econômico das comunidades geradoras do lixo, o tipo de coleta (seletiva ou generalizada) e a eficiência nos processos de separação e compostagem adotados pelas usinas (He, Traina e Logan, 1992; Cravo, Muraoka e Giné, 1998; Oliveira, 2000; Basso, 2004). Cerca de 50% do composto é constituído de matéria orgânica, variando em função da fonte e natureza das matérias primas, do tipo de coleta seletiva, da temperatura e do nível de maturação final da compostagem etc. (Berton e Valadares, 1991; He, Traina e Logan, 1992; Cravo, Muraoka e Giné, 1998; Egreja Filho et al., 1999). Dentre os nutrientes contidos no composto, o nitrogênio, fósforo, cobre, ferro e zinco apresentam-se em maiores teores; porém, podem estar em formas não prontamente disponíveis às plantas (Berton e Valadares, 1991; Cravo, Muraoka e Giné, 1998; Basso, 2004).

Por outro lado, quando o CRSU utilizado não for adequado, existe a possibilidade de: (i) contaminação do solo e das plantas por metais pesados (Jordão et al., 1996; Alves, Melo e Ferreira, 1999; Abreu Jr., 1999; Egreja Filho et al., 1999; Lima et al., 1999; Marchiori, 2000; Oliveira et al., 2002; Silva et al., 2002; Abreu Jr. et al., 2005a, 2005b), agentes patogênicos (Pereira Neto, 1988; Bidone, 2001) e compostos orgânicos persistentes (Grossi, 1993); (ii) contaminação do lençol freático por lixiviação de nitrato, resultante da mineralização do composto (Oliveira et al., 2001); (iii) salinização (Abreu Jr. et al., 2000; Oliveira, 2000); e, (iv) dispersão dos colóides e redução da condutividade hidráulica do solo (Melo et al., 1997).

Para a aplicação técnica do composto orgânico no solo agrícola, recomenda-se uma compostagem completa até que o composto esteja estabilizado, curado, ou seja, que esse material orgânico tenha um pH com valor acima de 6,5 e a relação C/N abaixo de 18, segundo Silva et al. (2002). Estes autores apresentam, ainda, as respostas agrícolas em termos de produtividade em função da adição do composto, com base nas quantidades de NPK presentes e nos resultados da análise de solo.

Não obstante seja recomendada certa cautela no uso agrônomo de CRSU, notadamente daquele oriundo de grandes centros industrializados e os estudos sobre a fitodisponibilidade de metais pesados devam ser aprofundados, a aplicação deste adubo orgânico, em solo agricultável, pode ser uma opção viável. Além disso, recomenda-se um monitoramento constante da quantidade do material inerte, dos metais pesados e dos patógenos, por meio de análises feitas regularmente nesse produto. A quantidade aplicada do composto não pode ser excessiva, a fim de se evitar perdas de nutrientes por lixiviação e por erosão superficial, bem como diminuir o risco ambiental.

CRITÉRIOS DE APLICAÇÃO E DE MANEJO DO COMPOSTO

Até pouco tempo atrás, o composto de lixo era aplicado em solo cultivado com hortaliças, como no cinturão verde da cidade de São Paulo, sem maiores critérios. Com objetivo de promover o uso seguro de resíduo orgânico como fertilizante, uma primeira aproximação de critérios para uso agrícola do CRSU no Estado de São Paulo foi apresentada por Silva et al. (2002), em Circular Técnica da Embrapa.

Nessa Circular Técnica, os autores preconizam as seguintes observações para se aplicar adequadamente o CRSU em solos agrícolas: a) a condutividade elétrica do solo deve estar abaixo de 4 dS m^{-1} ; b) o solo deve ter pH com valor maior que 5,5; c) deve-se dar preferência para o uso de CRSU proveniente de material orgânico de coleta seletiva que, possivelmente, apresentará menores teores de compostos orgânicos tóxicos, patogênicos e metais pesados; c) o composto deve ter pH com valor maior que 6,5; d) o CRSU 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 CRSU deve ser menor ou igual a 18; h) a dose equivalente de nitrogênio a ser aplicada deve ser menor ou igual a 310 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).

Em adição, para a definição da taxa de aplicação do composto de lixo na agricultura deve-se considerar também a capacidade que o solo (microambiente) tem de agir e interagir na decomposição da matéria orgânica adicionada. Não deve haver ocorrência de: a) lixiviação e/ou transporte, por processos erosivos, em excesso de nitratos, fosfatos e contaminantes inorgânicos e orgânicos para coleções hídricas; b) transmissão de vetores de doenças; e, ainda, c) de odores e/ou perturbações de ordem estética e social (Abreu Jr. et al., 2005a, 2005b).

A partir de 2005, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) tornou obrigatório o registro de fertilizantes orgânicos comercializados, inclusive do composto de resíduo sólido urbano, estabelecendo padrões de qualidade para os mesmos. Mais detalhes são apresentados nos Capítulos 5 e 6.

O agricultor, com o auxílio de engenheiro agrônomo ou técnico capacitado, deve definir as quantidades de calcário, nitrogênio, fósforo, potássio e micronutrientes que deverão ser aplicadas, em função da análise de atributos químicos do solo, idade das plantas e produtividade esperada, conforme indicado pelo Boletim Técnico 100 (Raij et al., 1997). Definidas essas quantidades e verificado se o CRSU atende ao estabelecido pelo MAPA (Capítulo 6), sugere-se que especial atenção seja dada para o teor de nitrogênio a ser adicionado ao solo, quando se for calcular a taxa de aplicação anual do composto. Isso se deve ao fato de que a lixiviação de nitrato pode ser considerada o principal fator poluente a curto prazo. Além disso, o valor de pH (CaCl_2) do solo,

após a aplicação do composto, deve ser mantido entre 5,5 e 7,0. Uma vez determinada a dose de CRSU a ser aplicada, deve-se avaliar a necessidade de adubação complementar, para que todos nutrientes estejam presentes no solo, em níveis adequados para o desenvolvimento das plantas.

EFEITOS SOBRE AS PROPRIEDADES DO SOLO

Quando o composto de resíduo sólido urbano é aplicado ao solo, ocorrem diversas reações de forma simultânea e dinâmica, tornando o sistema solo-planta muito complexo e, consequentemente, alterando vários atributos do solo.

Matéria orgânica

Os efeitos benéficos da matéria orgânica adicionada ao solo via resíduo orgânico, como o CRSU, são dependentes da persistência dessa carga orgânica no solo, ou seja, de sua degradabilidade. Quando parte do carbono orgânico presente nesse resíduo é resistente à degradação, os teores de carbono orgânico e, consequentemente, de matéria orgânica no solo aumentam ao longo de sucessivas aplicações, resultando em melhorias nas propriedades biológicas, bioquímicas, físicas e químicas desse solo (Clapp et al., 1986; Metzger e Yaron, 1987; Berton e Valadares, 1991; Melo et al., 1997; Oliveira, 2000; Abreu Jr., Muraoka e Oliveira, 2001, 2002; Abreu Jr. et al., 2005b).

Em um experimento, avaliando o efeito da adição de 60 t ha^{-1} de CRSU, na base de material seco⁽¹⁾, sobre o teor de carbono orgânico de diferentes solos, Abreu Jr., Muraoka e Oliveira (2002) observaram que, em média, 40% do carbono total do composto foi incorporado à matéria orgânica de solos ácidos brasileiros. Para solos do nordeste, com reação alcalina, a retenção da matéria orgânica do composto foi de 37%. Estes resultados são bem inferiores aos 95% de retenção do carbono adicionado via CRSU, em um solo de região de clima temperado (Sikora e Yakovchenko, 1996). Tais diferenças são explicadas pelo tipo, dose, relação C/N e grau de estabilidade do composto adicionado ao solo, assim como pela matéria orgânica, disponibilidade de nitrogênio e da fertilidade do solo em questão.

De um modo geral, para as condições climáticas brasileiras, devido à temperatura e à pluviosidade, o CRSU tem apresentado uma maior taxa de degradação do que em solos de clima temperado e, portanto, apenas efeitos temporários sobre o incremento da matéria orgânica do solo. Lembrando que a taxa de degradação é função da estabilidade biológica da matéria adicionada, tem-se que o uso agrícola de composto de resíduo sólido urbano, devidamente maturado, contribuirá, pelo menos, para a manutenção da qualidade da matéria orgânica do solo.

⁽¹⁾ Doravante, as referências de doses de resíduo orgânico estão relacionadas à aplicação do material seco, exceto quando explicitado contrário.

Capacidade de troca catiônica (CTC)

Em solos de regiões tropicais, nos quais predominam minerais (argila do tipo 1:1 e sesquióxidos de ferro, alumínio e manganês) de baixa CTC, o manejo de resíduo orgânico é de fundamental importância, pois a matéria orgânica contida nesse resíduo pode contribuir com até mais de 90% da CTC do solo (Kiehl, 1985; Melo et al., 1997).

A contribuição do composto de resíduo sólido urbano na CTC de solos, sob clima tropical, depende da qualidade e estabilidade da matéria orgânica aí contida. Aplicações consecutivas de doses elevadas do composto ($> 50 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) aumentaram a CTC desses solos ácidos (Berton e Valadares, 1991; Lima et al., 1999; Oliveira, 2000; Abreu Jr., Muraoka e Oliveira, 2001), em contraposição ao excesso de nitrogênio que estas aplicações poderão causar no sistema agrícola.

A aplicação do composto de lixo em 21 solos ácidos, na dose de 60 t ha^{-1} , promoveu a elevação da CTC de 7 a 117% (Abreu Jr., Muraoka e Oliveira, 2001), em relação à testemunha, devido ao desenvolvimento de cargas negativas, dependentes de pH, oriundas da carga orgânica do composto. Estes resultados em solos ácidos são concordantes com os de Ferro Neto (1994), Silva (1995), Melo et al. (1997), Benites e Mendonça (1998) e Oliveira (2000), que também concluíram que o aumento da CTC, de solo tratados com resíduo orgânico como o CRSU e o lodo de esgoto, foi consequência do acréscimo de cargas negativas provenientes do resíduo adicionado. Abreu Jr., Muraoka e Oliveira (2001) observaram também a capacidade do CRSU em aumentar a CTC de solos com reação alcalina, do nordeste brasileiro, cujos incrementos variaram de 7 a 15%, em relação aos solos não tratados com composto de lixo.

Em solos com mineralogia predominantemente caulinitica ou oxidica, o aumento da CTC está diretamente relacionado às doses de aplicação do material orgânico, assim como também o efeito sobre o valor de pH. Todavia, quanto à avaliação da CTC de solos tratados com resíduo orgânico, ponto importante diz respeito ao método de determinação da CTC. Há diferenças entre os valores de CTC determinados, diretamente, com solução tampão e os valores obtidos pela soma de cátions trocáveis (SB) e acidez total ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$), usuais na análise de fertilidade do solo (Abreu Jr. et al., 2005a). Deste modo, sugere-se que a CTC de solos tratados com composto de lixo seja monitorada por determinação direta, já que estes solos devem apresentar excesso de sais em solução, sendo, então, os cátions trocáveis superestimados.

Visto o exposto, pode-se afirmar que o efeito positivo da aplicação de composto de resíduo sólido urbano na CTC de solos agrícolas, a curto e médio prazo, será função da taxa de aplicação, da reaplicação, do tipo de compostagem e da capacidade do composto em neutralizar a acidez (elevar o valor de pH) e aumentar os teores de nitrogênio e de outros cátions e ânions do solo.

Reação do solo

O resíduo orgânico, geralmente, apresenta reação alcalina e pode elevar o valor de pH do solo (Berton e Valadares, 1991), ou seja, melhora a reação do solo, atributo que desempenha

importante papel no controle da disponibilidade de micronutrientes e metais pesados no solo, em função de reações de solubilização e complexação (Sabey, 1980; Elliott, Liberati e Huang, 1986; Tyler et al., 1989).

Abreu Jr. et al. (2000) constataram, monitorando os efeitos do CRSU sobre as propriedades de 26 solos brasileiros, que a variável que apresenta melhor correlação com a amplitude de variação dos valores de pH é a CTC inicial dos solos e que, em solos ácidos com saturação por bases inferior a 30%, o efeito da aplicação do composto na dose de 60 t ha⁻¹ sobre o aumento do valor de pH é equivalente ao da aplicação de calcário, em dose igual ou superior a 2 t ha⁻¹.

Outra importante característica do solo que poderá indicar a extensão do incremento no valor do pH, após a aplicação do composto, é a saturação por bases (V%). Dessa forma, Abreu Jr. et al. (2000) verificaram que o efeito da aplicação do composto sobre o valor do pH, em solos com V% inicial inferior a 30%, foi igual ao incremento proporcionado pela aplicação de calcário, para elevar a V% desses solos a 70%. Curvas de neutralização de composto de lixo, em amostras de um Latossolo Vermelho, mostram que 90 t ha⁻¹ de composto equivalem à dose 16 t ha⁻¹ de um calcário dolomítico, com poder relativo de neutralização total (PRNT) de 80% (Andrade, Gradjean e Mattiazzo, 1998).

Embora algumas situações tenham sido estudadas, é importante destacar que a extensão dos efeitos do CRSU sobre reação do solo é variável em função de características de sua matéria orgânica, das propriedades do solo, como textura e capacidade de tamponamento, e do tempo e taxa de aplicação do composto (Berton, Camargo e Valadares, 1989; Abreu Jr. et al., 2000; Oliveira, 2000).

Nutrientes

O CRSU pode ser uma fonte de nutrientes às plantas. De acordo com Berton e Valadares (1991), um CRSU com 40% de umidade, quando aplicado na dose de 30 t ha⁻¹, adiciona ao solo cerca de 200 kg de nitrogênio, 36 kg de fósforo, 56 kg de potássio e 54 kg de enxofre. No entanto, a taxa de mineralização dos nutrientes contidos no composto dependerá do seu grau de maturação (He, Traina e Logan, 1992; Bernal, 1998; Oliveira, 2000; Abreu Jr. et al., 2005a, 2005b).

Relação C/N

A relação C/N indica o grau de maturação de um composto sendo, portanto, importante para explicar o comportamento de resíduo sólido orgânico no solo. Materiais não maturados, com relação C/N ampla (> 20), reduzem a disponibilidade de nitrogênio e de outros nutrientes para as plantas e materiais curados; com relação C/N estreita (< 18), causam toxicidade às plantas e contaminam o lençol freático pela lixiviação de nitratos, quando em dose alta (Jahnel et al., 1999; Oliveira et al., 2001). Dessa forma, o êxito do uso de CRSU, como adubo orgânico, será dependente da estabilidade da matéria orgânica e das propriedades físicas, químicas e biológicas do com-

posto final (Kiehl, 1985; He, Traina e Logan, 1992; Cravo, Muraoka e Giné, 1998, Hogg et al., 2002; Silva et al., 2002).

Nitrogênio

O maior problema de aplicar adubos orgânicos em doses anuais superiores a 50 t ha^{-1} poderá ser a mineralização excessiva, resultando em acúmulo de nitrogênio inorgânico e posterior lixiviação de nitrato ao longo do perfil do solo, contaminando a água subsuperficial (Oliveira et al., 2001) e, conseqüentemente, podendo contaminar os animais e o homem, representando um forte impacto ambiental negativo.

Abreu Jr., Muraoka e Oliveira (2002) verificaram que a aplicação de composto de resíduo sólido urbano incrementou o teor de nitrogênio total de 21 solos ácidos de 0,10 a 0,30 g dm^{-3} , em relação à testemunha, e que podem ocorrer perdas significativas de nitrogênio no sistema.

A aplicação conjunta de um composto de lixo e fertilizante nitrogenado pode conduzir a efeitos, na disponibilidade de nitrogênio do solo e na nutrição e produção vegetal, superiores aos efeitos de ambas as fontes isoladamente (Sikora e Azam, 1993). Este sinergismo entre o composto e o adubo mineral deve ser decorrente da mineralização da carga orgânica adicionada e não da matéria orgânica nativa do solo (Sikora e Yakovchenko, 1996). Todavia, Abreu Jr., Muraoka e Oliveira (2002) verificaram que, de modo geral, não houve diferença entre a aplicação do composto com ou sem adubo nitrogenado, e com ou sem calcário em solos ácidos, e com ou sem gesso em solos alcalinos, sobre o teor de nitrogênio total do solo, devido, principalmente, à volatilização de amônia e, em parte, à quimio desnitrificação, visto o valor de pH na faixa de 5,5 a 8,0 nestas condições (Abreu Jr. et al., 2000).

Em áreas agrícolas onde se pretende fazer aplicação anual do composto de lixo, para evitar problemas de excesso de nitrogênio, recomenda-se que as aplicações sucessivas sejam feitas com doses anuais decrescentes até o quinto ano, quando se estabelece equilíbrio dinâmico entre os processos de mineralização e imobilização do nitrogênio, mantendo-se dose constante a partir daí. Já em pequenas propriedades, as aplicações anuais podem ser feitas com doses baixas ($< 50 \text{ t ha}^{-1}$) (Stevenson, 1986; Oliveira, 2000; Abreu Jr. et al., 2005a, 2005b). O composto deve ser aplicado em toda a superfície do solo antes da semeadura ou nas entrelinhas, precedendo atividades de rotina, para não encarecer a atividade. Independentemente da situação, conforme explicitado em critérios de aplicação, sugere-se que a quantidade de nitrogênio disponível adicionada ao solo pelo composto não exceda à dose recomendada para a cultura (Raij et al., 1997), de modo análogo ao do preconizado para a aplicação de lodo de esgoto na Resolução Conama 375/2006 (Brasil, 2006). Além disso, é interessante que seja realizado o monitoramento dos teores de nitrato, ao longo do perfil do solo.

Fósforo

O teor de fósforo em solos ácidos, obtido pelo método da resina de troca iônica, é um dos atributos químicos que apresenta maior incremento percentual devido ao uso agrícola de CRSU. Mazur, Santos e Velloso (1983) observaram aumentos de 57% no teor de fósforo disponível, devido à aplicação de composto de lixo em um Latossolo Amarelo, com teor inicial de 1 mg dm^{-3} de fósforo. Alves, Melo e Ferreira (1999) verificaram, num Argissolo Vermelho-Amarelo com 2 mg dm^{-3} de fósforo, um aumento linear dos teores de fósforo, em função de doses de composto de até 100 t ha^{-1} . Abreu Jr., Muraoka e Oliveira (2002) verificaram que a incorporação de composto em solos ácidos aumentou o teor de fósforo disponível de $3,3$ a $15,5 \text{ mg dm}^{-3}$, em relação à testemunha, com incremento médio de 200%. Porém, este efeito não foi significativo em solos com reação alcalina, em função da alta capacidade de adsorção de fósforo.

A melhoria da disponibilidade de fósforo do solo pelo composto de lixo pode ser justificada por dois aspectos: ao aumento da quantidade diretamente disponível de fósforo, devido à simples presença do nutriente no composto, pois as reservas de fósforo são escassas e à ação indireta, melhorando as propriedades químicas do solo (Carvalho e Barral, 1981; Abreu Jr. et al., 2000; Oliveira, 2000).

Potássio, cálcio, magnésio e sódio

Abreu Jr., Muraoka e Oliveira (2001) relataram que a adição exclusiva de 60 t ha^{-1} de CRSU, em solos ácidos, incrementou os teores trocáveis de potássio em $1,1$ a $4,2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (50 a 540%), de cálcio em 23 a $68 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (40 a 2300%), de magnésio em $1,2$ a $17,2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (6 a 460%) e de sódio em $6,1$ a $10,6 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (470 a 2570%), respectivamente, em relação à testemunha absoluta. Resultados semelhantes foram obtidos por Ferro Neto (1994) e Cravo (1995). Porém, solos alcalinos do nordeste brasileiro, de um modo geral, não tiveram os seus teores de cálcio e magnésio trocáveis modificados pelo composto, devido aos altos valores de pH (6,0 - 6,5) desses solos, o que confere baixa solubilidade ao cálcio e magnésio; aos elevados teores iniciais de cálcio e magnésio trocáveis e à alta CTC que atribuem forte poder tampão a esses solos.

O aumento do teor de potássio trocável pela aplicação de CRSU está intimamente relacionado com o poder tampão do solo, que depende do tipo de mineral de argila, teores de argila e matéria orgânica (Abreu Jr., Muraoka e Oliveira, 2001). Quanto maiores a CTC e o teor de potássio, por ocasião da aplicação, maior o poder tampão e menor será o efeito do resíduo sobre o incremento no teor de potássio trocável do solo. A aplicação de composto pode também disponibilizar parte do potássio não trocável do solo. Pode-se supor que a elevação da CTC do solo pela carga orgânica do composto cause diminuição no teor não trocável e aumente o potássio trocável, em processo dependente do pH.

De acordo com a pesquisa de Abreu Jr., Muraoka e Oliveira (2001), em virtude do maior incremento no teor de cálcio do que no teor de magnésio trocáveis, em solos ácidos, constata-se

que composto de lixo promove o aumento da relação Ca/Mg do solo. Este efeito é decorrente da própria composição química do composto, que apresentava 28,6 g kg⁻¹ ou 1,43 mol_c kg⁻¹ de Ca e apenas 4,1 g kg⁻¹ ou 0,34 mol_c kg⁻¹ de Mg. A amplitude de variação da relação Ca/Mg entre diferentes solos é consequência dos teores iniciais de cálcio e magnésio trocável, assim como da CTC, que refletem o poder tampão e a acidez potencial dos solos brasileiros.

A relação K/Mg trocáveis, que quando elevada (maior que 1), em virtude do excesso de potássio (maior que 3,1 mmol_c dm⁻³) pode induzir a deficiência de Mg às plantas, variou de 0,07 a 1,5 nos solos ácidos e de 0,05 a 0,49 nos solos alcalinos tratados com 60 t ha⁻¹ de composto de lixo (Abreu Jr., Muraoka e Oliveira, 2001). Todavia, na maioria das culturas intensivas, a deficiência de Mg é causada mais frequentemente por condições adversas do solo ou, então, por falta real de magnésio (menor que 4 mmol_c dm⁻³) do que por relação K/Mg muito ampla, exceto sob condição de adubação potássica pesada e sucessiva, devido ao aumento anormal do teor de K no solo. Para evitar deficiência de magnésio no solo, pode-se recomendar a aplicação de calcário dolomítico antes, do uso do resíduo.

Enxofre e micronutrientes

O efeito do CRSU sobre a disponibilidade de enxofre e micronutrientes no solo está diretamente relacionado com a dose de resíduo adicionada. A aplicação do composto em solos ácidos aumentou o teor de enxofre disponível em 4,4 a 55,7 mg dm⁻³, com incremento médio de 185% acima da testemunha (Abreu Jr., Muraoka e Oliveira, 2002).

De acordo com Berton e Valadares (1991), a aplicação de 30 t ha⁻¹ de composto de resíduo sólido urbano, devidamente curado e com 40% de umidade, seria suficiente para suprir as necessidades de nitrogênio, fósforo, potássio e enxofre para a cultura do milho, em um solo de baixa fertilidade. No entanto, Cravo (1995) verificou que a aplicação isolada de CRSU foi insuficiente para garantir o adequado suprimento de nutrientes à produção de alface. Isto se deve ao fato de que existe variação na fração do total dos nutrientes disponíveis às plantas (Cravo, 1995).

Salinidade e sodicidade

A aplicação de CRSU no solo pode aumentar a condutividade elétrica do mesmo, devido aos altos teores de sais presentes no resíduo (Oliveira, 2000; Abreu Jr. et al., 2000; Silva et al., 2002). Em vista disso, a taxa de uso agrícola do composto de lixo deve ser limitada por causa da carga salina que, ao longo de aplicações sucessivas, poderá resultar na salinização do solo e danos fisiológicos e nutricionais às plantas (Abreu Jr. et al., 2005a, 2005b).

O aumento da salinidade diminui o potencial osmótico da água no solo, o que pode resultar na perda de água da planta para o solo e em danos fisiológicos ou até mesmo morte. Esse efeito é mais comum no estágio inicial de desenvolvimento de espécies anuais. Além disso, também pode ocorrer a dispersão dos colóides e a redução da condutividade hidráulica do solo, decorrentes da substituição do cálcio e magnésio da interface da solução do solo-superfície coloidal pelo potás-

sio e sódio, presentes em concentrações altas no composto de resíduo sólido urbano (Melo et al., 1997). Tais problemas podem ser agravados em casos de aplicações sucessivas de composto em regiões com baixos índices pluviométricos, onde o excesso de sódio no material poderá conduzir à sodicidade do solo (Abreu Jr. et al., 2000, 2005a, 2005b; Oliveira, 2000).

A avaliação da periculosidade do resíduo, em função do sódio, é realizada com base na relação de adsorção de sódio (RAS) (Abreu Jr. et al., 2005a, 2005b). Quando o índice estiver abaixo de 5, não se deve ter problema com o excesso de sódio, mas para valores entre 5 e 15, é de se esperar alteração severa na estrutura do solo (Glória, 1992).

Medidas da condutividade elétrica são frequentemente utilizadas para avaliar a concentração de sais solúveis no solo. Valores de condutividade, no extrato de saturação, maiores que 2 dS m^{-1} caracterizam solos salinos, o que corresponde a cerca de 1.250 mg L^{-1} de sólidos dissolvidos (Glória, 1992). Silva et al. (2002) recomendam a manutenção da condutividade abaixo de 4 dS m^{-1} em solos tratados com CRSU.

A adição de CRSU, com ou sem calcário e adubo em solos ácidos, com ou sem gesso e adubo em solos alcalinos, aumentou os teores de sódio trocável na ordem de 6 a $11 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$, fazendo com que o sódio ocupe, em média, 12% da soma de bases, em consequência do alto teor desse elemento no lixo domiciliar (Abreu Jr., Muraoka e Oliveira, 2001).

A incorporação de CRSU, na taxa de 60 t ha^{-1} , incrementou os valores de condutividade elétrica de solos ácidos em 0,33 a $1,37 \text{ dS m}^{-1}$, em relação à testemunha; porém, sem atingir o valor crítico de 2 dS m^{-1} (Abreu Jr. et al., 2000). Resultados semelhantes são relatados por Melo et al. (1997), Benites e Mendonça (1998) e Oliveira (2000).

Para regiões com estação chuvosa definida ou mesmo para regiões áridas irrigadas do Brasil, o efeito do uso agrícola de composto de resíduo sólido urbano, dentro das normas preconizadas, não deverá ser limitante ao desenvolvimento da maioria das espécies de interesse econômico, em solos bem drenados.

Elementos inorgânicos potencialmente tóxicos

Uma das principais preocupações em relação ao uso agrícola de composto de lixo é o teor de “metais pesados” que o composto pode conter (Abreu Jr. et al., 2005a, 2005b, 2008). Os metais estão envolvidos em um complexo sistema de reações que ocorrem no solo, podendo resultar em contaminação do ambiente e à entrada desses metais na cadeia alimentar (He, Traina e Logan, 1992; Melo et al., 1997; Cravo, Muraoka e Giné, 1998; Oliveira, 2000). É interessante lembrar, porém, que do total de metais presentes no CRSU, geralmente apenas uma pequena fração se apresenta em formas prontamente disponíveis às plantas (Petruzzelli, Lubrano e Guidi, 1985; Jordão et al., 1996; Canet, Pomares e Tarazona, 1997; Igreja Filho et al., 1999), diminuindo o risco de contaminação. Os limites máximos de metais pesados no CRSU, estabelecidos em normas e regulamentações, são essenciais para que se possa utilizar o composto em solos agrícolas, sem que ocorram impactos negativos ao ambiente e à saúde humana.

Como nos compostos de resíduo sólido urbano, os teores de metais pesados podem ser superiores aos valores encontrados nos solos destinados à agricultura, sua disposição agrícola pode levar ao acúmulo de alguns metais no agrossistema (Cravo, 1995; Cravo, Muraoka e Giné, 1998; Abreu Jr., 1999; Oliveira, 2000; Silva et al., 2002). Portanto, o uso agrônômico de CRSU e outros resíduos orgânicos somente deverá ser feito quando neles não existirem concentrações de cádmio, chumbo, cobre, cromo, níquel e zinco acima do regulamentado (Basso, 2004; Abreu Jr. et al., 2005a, 2005b).

A disponibilidade de um metal no solo para as plantas e, conseqüentemente, sua entrada na cadeia alimentar, é controlada pelo teor total e, principalmente, pela forma química em que este metal se encontra no solo. Quando adicionados aos solos, os metais pesados contidos no resíduo passam por inúmeras reações, as quais são responsáveis pelas várias espécies químicas e físicas dos elementos (Essington e Mattigod, 1991). A espécie química do metal controla a compartimentalização entre as fases sólida e líquida do solo, em conseqüência dos processos de adsorção, dessorção, precipitação, dissolução e complexação (Alloway, 1990; Mattiazzo-Prezotto, 1994). Estes processos, por sua vez, são dependentes da reação do solo (valor de pH), do teor e qualidade de matéria orgânica, da textura e composição mineral (teor e tipos de argilas, teores de óxidos de ferro, alumínio e manganês), capacidade de retenção de cátions, potencial de oxirredução, composição da solução do solo e da temperatura do ambiente (Kabata-Pendias e Pendias, 1984; Adriano, 1986; Alloway, 1990; Ross, 1994). A disponibilidade dos metais deverá diminuir com o aumento do pH, da CTC e do teor de matéria orgânica do solo (Abreu Jr. et al., 2000; Oliveira, 2000).

Expressivos teores totais de metais pesados foram detectados no composto de resíduo sólido urbano da cidade de São Paulo (Basso, 2004), dos quais se destacaram zinco, chumbo e cobre. Os teores de nutrientes e metais pesados obtidos por Basso (2004) estão em concordância com os apresentados por He, Traina e Logan (1992) e Cravo, Muraoka e Giné (1998). Por outro lado, Berton e Valadares (1991) inferiram que as quantidades de metais pesados no composto de resíduo sólido urbano não são restritivas ao seu uso agrícola.

Essa variação nos resultados encontrados, quanto aos teores de metais pesados em CRSU, demonstram que a qualidade da matéria prima utilizada e, conseqüentemente, da eficiência da coleta e separação do material orgânico estão diretamente ligados à qualidade do composto obtido. Vários componentes do lixo doméstico são conhecidas fontes de micronutrientes e de metais, como o plástico, fornecedor de Cd (67 a 77% do total); os metais ferrosos como fonte de Cu e Pb (14 a 50% de Cu e 29 a 50% de Pb); o papel como fonte de Pb (10 a 14%); o couro como fonte de Cr (35%) e a borracha como fonte de Zn (32 a 37%) (Rosseaux et al., 1988).

Uma vez constatado o risco de contaminação por metais pesados, devido à adição de composto de resíduo sólido urbano aos solos agrícolas, o MAPA normalizou o registro de CRSU, estabelecendo, inclusive, limites de metais pesados, para que esses possam ser utilizados na agricultura. Mais detalhes dessa normalização podem ser encontrados nos Capítulos 5 e 6.

Atividade biológica

Devido ao seu caráter predominantemente orgânico, a adição de composto de resíduo sólido urbano ao solo aumenta o teor de matéria orgânica. Assim, espera-se que a população dos microrganismos presentes no solo também aumente, devido ao incremento no substrato carbônico e nutrientes presentes no solo, intensificando as atividades enzimáticas envolvidas nos ciclos de nitrogênio, fósforo e enxofre, até que toda a fonte de energia que ainda esteja presente seja utilizada (Stevenson, 1986).

Silveira, Berton e Abreu (1995) observaram que tanto a atividade como a quantidade de bactérias e fungos aumentaram com a aplicação do CRSU, sendo que as maiores respostas foram verificadas logo no primeiro dia após a incorporação do material orgânico ao solo. Dahlin et al. (1997) observaram melhoria na fixação biológica do nitrogênio em leguminosas com a adição de composto, avaliada pela atividade de nitrogenase, tamanho e número de nódulos, assim como o aumento de biomassa microbiana.

EFEITOS SOBRE AS PLANTAS

Os efeitos benéficos da adição de composto de resíduo sólido urbano aos solos agrícolas, na produtividade e qualidade das plantas, já foram bastante estudados. Um ponto que deve ser destacado é que esses efeitos benéficos ao desenvolvimento das plantas estão diretamente ligados à qualidade do composto. Com isso, o uso de matéria-prima de qualidade (fração orgânica devidamente separada) e um processo de compostagem bem conduzido são essenciais para que a eficiência agrônômica do composto seja satisfatória. Atualmente, o principal problema é o uso de composto que não atingiu ainda o grau de maturação ideal, não apresentando, portanto, características agrônômicas desejáveis.

A aplicação de composto imaturo causa deficiência de nitrogênio às plantas (Jahnel, Melloni e Cardoso, 1999) e também torna o meio fortemente redutor (Cottenie, 1981), aumentando a solubilidade de metais pesados. Além disso, a presença de certos ácidos orgânicos como propiônicos, isobutírico e acético, em quantidade bem maior, quando o composto é imaturo, inibe a germinação ou causa fitotoxicidade (Devleeschauwer, Verdonck e Van Assche, 1981; Chanyasak et al., 1983). Assim, muitos malefícios à qualidade ambiental e aos alimentos podem ocorrer em função do uso de compostos imaturos (Mazur, Santos e Velloso, 1983; Peixoto, Franco e Almeida, 1987; Ferreira e Cruz, 1992; Marchiori, 2000; Abreu Jr. et al., 2008). Todavia, estudos mais recentes têm demonstrado que a aplicação de CRSU, quando bem maturado, apresenta efeitos positivos para culturas de interesse econômico (Abreu Jr., 1999; Oliveira, 2000; Hogg et al., 2002; Abreu Jr. et al., 2005a, 2005b, 2008).

Em experimento conduzido em casa de vegetação, Mazur, Santos e Velloso (1983) aplicaram num Latossolo Amarelo doses de 15 g dm^{-3} (equivalentes a 30 t ha^{-1}) de composto de lixo e

verificaram aumentos no acúmulo de fósforo em plantas de milho e o consequente acréscimo na produção de matéria seca. Trindade et al. (1996) também observaram que a aplicação de composto de lixo em doses equivalentes a 0, 10, 20, 40 e 60 t ha⁻¹, em um Latossolo Vermelho Amarelo, aumentou linearmente os teores de fósforo disponível do solo e o crescimento de plantas de milho em função das doses, assim como um efeito residual positivo em cultivos sucessivos.

Dependendo da composição do composto de resíduo sólido urbano, pode haver a necessidade de se complementar a adubação com outra fonte. A necessidade ou não de adubação mineral, complementar à aplicação de composto, irá depender da exigência nutricional e nível de produtividade da cultura, propriedades do solo, tipo e qualidade do material etc. A produtividade obtida com base no sistema convencional de cultivo, no qual a recomendação de adubação e calagem tem como base a análise do solo, dificilmente será alcançada, utilizando-se resíduo orgânico, incluindo o CRSU, devido ao desbalanço de nutrientes nesses resíduos (Raij et al., 1997). Para se obter uma produtividade compatível com a do sistema convencional, é necessário o manejo dos macros e micronutrientes no solo, por meio da definição de uma taxa de aplicação do resíduo, baseada nas características do solo e do resíduo e na necessidade da planta (Silva et al., 2002; Abreu Jr. et al., 2005a, 2005b, 2008).

O acúmulo de metais pesados na parte aérea das plantas depende da espécie vegetal. Cravo (1995) observou que o acúmulo pela alface da maioria dos metais pesados aumentou em função da dose do composto. Abreu Jr. (1999) constatou que, para o arrozeiro, embora tenha ocorrido aumento no acúmulo de metais pesados, este não foi superior ao causado pela aplicação de calcário e adubo. Marchiori (2000) realizou um amplo estudo em plantações hortícolas na região do cinturão verde, da cidade São Paulo, que receberam aplicação de compostos de resíduo sólido urbano por períodos de três a sete anos, conforme a localidade. Os teores de metais pesados nos tecidos vegetais de alface e beterraba avaliados estavam abaixo dos considerados fitotóxicos, com exceção do cromo e cobre em algumas amostras, não sendo observado nenhum sintoma de fitotoxicidade. O único metal pesado em concentração acima do permitido para a alimentação humana, nesse caso, foi o chumbo.

CONCLUSÃO

O uso agrícola de composto de resíduo sólido urbano de alta qualidade, dentro do preconizado pelas normas e regulamentações, apresenta uma série de vantagens econômicas e ambientais. Dentre as vantagens econômicas pode-se destacar a redução de custos, em função da diminuição ou eliminação da necessidade de aplicação de corretivos e fertilizantes minerais, principalmente de nitrogênio e de potássio. Além disso, geralmente, o emprego de composto promove melhorias no ambiente radicular por meio do aumento na atividade biológica, aeração, CTC, valor de pH, retenção de água, entre outros. Com relação às vantagens ambientais, reciclam-se o carbono e os nutrientes desperdiçados pelo homem, uma vez que esses elementos podem ser

absorvidos pelas plantas e novamente convertidos em alimentos, preservando recursos naturais escassos, como as fontes de fósforo. A obtenção de composto de resíduo sólido urbano de excelente qualidade, por meio da coleta seletiva, para se evitar a contaminação do material orgânico com elementos potencialmente tóxicos, e da compostagem adequada, para eliminação de compostos orgânicos prejudiciais e patógenos, deve ser promovida por todos os cidadãos, produtores, pesquisadores e gestores públicos. Para tanto, há necessidade de conscientização, vontade política, responsabilidade pública e de esforços e investimentos maciços para com a pesquisa, a educação ambiental, o desenvolvimento tecnológico para a gestão do lixo urbano e o saneamento básico.

REFERÊNCIAS

- ABREU JR., C.H. **Propriedades químicas e disponibilidade de nutrientes e de metais em diferentes solos adubados com composto de resíduo urbano**. 1999. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.
- ABREU JR., 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, n.4, p.813-24, 2001.
- _____. Carbono orgânico, nitrogênio, fósforo e enxofre em solos tratados com composto de lixo urbano. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, n.3, p.769-80, 2002.
- ABREU JR., C.H. et al. Condutividade elétrica, reação do solo e acidez potencial em solos adubados com composto lixo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.24, n.3, p.635-47, 2000.
- ABREU JR., C.H. et al. Uso agrícola de resíduos orgânicos potencialmente poluentes: propriedades químicas do solo e produção vegetal. *Tópicos em Ciência do Solo*, Viçosa, v.4, p.391-479, 2005a.
- ABREU JR., C.H. et al. Uso de resíduos orgânicos no pomar. In: MATTOS JUNIOR, D. et al. (Eds.). *Citros*. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas/Fundag, 2005b. p.871-96.
- ABREU JR., C.H. et al. Aproveitamento agrícola de resíduos no canavial. In: MARQUES, M.O. et al. (Eds.). *Tecnologias na agroindústria canavieira*. Jaboticabal: FCAV, 2008. p.183-210.
- ADRIANO, D.C. *Trace elements in the terrestrial environment*. New York: Springer-Verlag, 1986.
- ALLOWAY, B.J. *Heavy metals in soils*. New York: John Wiley, 1990.
- ALVES, W.L.; MELO, W.J.; FERREIRA, M.E. Efeito do composto de lixo urbano em um solo arenoso e em plantas de sorgo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.23, p.729-36, 1999.
- ANDRADE, C.A.; GRADJEAN, F.C.; MATTIAZZO, M.E. Curvas de neutralização de lodo de esgoto e composto de lixo em Latossolo Vermelho Escuro. In: FERTBIO 98, 1998, Caxambu. Resumos... Caxambu: UFLA; SBCS ; SBM, 1998. p.456.
- 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. Dissertação (Mestrado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.
- BENITES, V.M.; MENDONÇA, E.S. Propriedades eletroquímicas de um solo eletropositivo influenciadas pela adição de matéria orgânica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.22, p.215-21, 1998.
- BERNAL, M.P. Carbon mineralization from organic wastes at different composting stages during their incubation with soil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.69, p.175-89, 1998.
- BERTON, R.S.; CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S. Absorção de nutrientes pelo milho em resposta à adição de "resíduo orgânico" a cinco solos paulistas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.13, n.2, p.187-92, 1989.

- 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.
- BIDONE, F.R.A. (Coord.) **Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais: eliminação e valorização**. Rio de Janeiro: Rima Artes e Textos, ABES, 2001.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus derivados. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, n.167, p.141-6, 30. ago. 2006.
- CANET, R.; POMARES, F.; TARAZONA, F. Chemical extractability and availability of heavy metals after seven years application of organic wastes to a citrus soil. *Soil Use and Management*, v.13, p.117-21, 1997.
- CARVALHO, P.C.T.; BARRAL, M.F. Aplicação do “resíduo orgânico” como fertilizante. *Fertilizantes*, v.3, n.2, p.1-4, 1981.
- CHANYASAK, V. et al. Effects of compost maturity on growth of Komatsuna (*Brassica rapa* var. pervidis) in Neubauers pot. II. Growth inhibitory factors and assessment of degree of maturity by org.-C/org.-N ratio of water extract. *Soil Science Plant Nutrition*, v.29, n.3, p.251-9, 1983.
- CLAPP, C.E. et al. Sewage sludge organic matter and soil properties. In: CHEN, Y.; AVNIMELECH, Y. (Eds.). *The role of organic matter in modern agriculture*. Dordrecht: Martinus Nijhoff, 1986. p.209-253.
- COTTENIE, A. Sludge treatment and disposal in relation to heavy metals. In: INTERNATIONAL CONFERENCE HEAVY METALS IN THE ENVIRONMENT, 1981, Edinburg. *Proceedings...* Edinburg: CEP Consultants, 1981. p.167-75.
- CRAVO, M.S. **Composto de lixo urbano como fonte de nutrientes e metais pesados para alface**. 1995. Tese (Doutorado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.
- 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, n.3, p.547-53, 1998.
- DAHLIN, S. et al. Where's the limit? Changes in the microbiological properties of agricultural soils at low levels of metal contamination. *Soil Biology Biochemistry*, v.9, n.9/10, p.1405-15, 1997.
- DEVLEESCHAUWER, D.; VERDONCK, O. ; VAN ASSCHE, P. Phytotoxicity of refuse compost. *BioCycle*, v.22, n.1, p.44-6, 1981.
- EGREJA FILHO, F.B. et al. Avaliação quimiométrica da distribuição de metais pesados em composto de lixo urbano. *Química Nova*, v.22, p.324-8, 1999.
- ELLIOTT, H.A.; LIBERATI, M.R.; HUANG, C.P. Competitive adsorption of heavy metals by soils. *Journal Environmental Quality*, v.15, n.3, p.214-7, 1986.
- ESSINGTON, M.E.; MATTIGOD, S.V. Trace element solid-phase associations in sewage sludge and sludge-amended soil. *Soil Science Society of America Journal*, v.55, p.350-6, 1991.
- FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. Estudo do efeito de vermicomposto sobre a absorção de nutrientes e produção de matéria seca pelo milho e propriedades do solo. *Científica*, v.20, n.1, p.217-27, 1992.
- FERRO NETO, A. Produção racional de composto de lixo urbano. In: SEMINÁRIO SOBRE USO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS E URBANOS EM FLORESTAS, 1., 1994, Botucatu. *Trabalhos apresentados...* Botucatu: Unesp/FCA, 1994. p.1-14.
- GLÓRIA, N.A. **Uso agrônomo de resíduos**. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 22., 1992, Piracicaba. *Anais*. Campinas: Fundação Cargill, 1992. p.195-212.
- GROSSI, M.G.L. **Avaliação da qualidade dos produtos obtidos de usina de compostagem brasileiras de lixo doméstico através da determinação de metais pesados e substâncias orgânicas tóxicas**. 1993. Tese (Doutorado) - Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

- HE, T.H.; TRAINA, S.J.; LOGAN, T.J. Chemical properties of municipal solid waste compost. *Journal Environmental Quality*, v.21, n.3, p.318-29, 1992.
- HOGG, D. et al. **Comparison of compost standards within the EU, North America and Australasia.** Oxon: The Waste and Resources Action Programme-WRAP, 2002.
- JAHNEL, M.C.; MELLONI, R.; CARDOSO, E.J.B.N. Maturidade de composto de lixo urbano. *Scientia Agrícola*, v. 56, p.301-4, 1999.
- JORDÃO, C.P. et al. Speciation of cadmium, copper, lead and zinc in compost from Brazilian urban solid waste treatment plant. *Ciência e Cultura Journal of the Brazilian Association for the Advancement of Science*, v.48, p.284-7, 1996.
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soil and plants.** Boca Raton: CRC, 1984.
- KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos.** Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985.
- LIMA, J.S. et al. Hortaliças cultivadas com composto orgânico de lixo urbano não apresentam contaminação com metais pesados. *Revista Ceres*, v.46, p.571-85, 1999.
- 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. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Área de Concentração em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.
- MATTIAZZO-PREZOTTO, M.E. **Comportamento de cobre, cádmio, cromo, níquel e zinco adicionados a solos de clima tropical em diferentes valores de pH.** 1994. Tese (Livre-Docência)- Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.
- 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, n.2, p.153-6, 1983.
- MELO, W.J. et al. Uso de resíduos sólidos urbanos na agricultura e impactos ambientais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: SBCS, Embrapa, 1997. 1 cd-rom.
- METZGER, L.; YARON, B. Influence of sludge organic matter on soil physical properties. *Advances in Soil Science*, v.7, p.141-63, 1987.
- OLIVEIRA, F.C. **Disposição de lodo de esgoto e composto de lixo urbano num Latossolo vermelho-amarelo cultivado com cana-de-açúcar.** 2000. Tese (Doutorado)- Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.
- OLIVEIRA, F.C. et al. Percolação de nitrato em Latossolo Amarelo distrófico afetada pela aplicação de composto de lixo urbano e adubação mineral. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, n.3, p.731-41, 2001.
- OLIVEIRA, F.C. et al. Movimentação de metais pesados em Latossolo adubado com composto de lixo urbano. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.37, n.12, p.1787-93, 2002.
- PEIXOTO, R.T.G.; FRANCO, A.A.; ALMEIDA, D.L. Efeito do lixo urbano compostado com fosfato natural na nodulação, crescimento e absorção de fósforo em feijoeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.22, n.11-12, p.1117-32, 1987.
- PEREIRA NETO, J.T. Monitoramento da eliminação de organismos patogênicos durante a compostagem do lixo e lodo de esgoto pelo sistema de pilhas estáticas aeradas. *Engenharia Sanitária*, v.27, n.2, p.148-52, 1988.
- PETRUZZELLI, G.; LUBRANO, L.; GUIDI, G. Heavy metal extractability. *BioCycle*, v.26, p.46-8, 1985.
- RAIJ, B. van et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** Campinas: IAC, 1997.
- ROSS, S.M. **Toxic metals in soil-plant-systems.** New York: John Wiley, 1994.

ROUSSEAU, P.D. **Les métaux lourds dans les ordures ménagères: origines, formes, chimiques, teneurs.** Villeurbanne: LCPAE/ANRED/NAE, 1988.

SABEY, B.R. The use of sewage as a fertilizer. In: BEWICK, M.W. (Org.). **Handbook of organic waste conversion.** New York: Van Nostrand Reinhold, 1980. p.72-107.

SIKORA, L.J.; AZAM, M.I. Effect of compost-fertilizer combinations on wheat yields. **Compost Science Land Utilization**, v.1, p.93-96, 1993.

SIKORA, L.J.; YAKOVCHENKO, V. Soil organic matter mineralization after compost amendment. **Soil Science Society American Journal**, v.60, p.1401-4, 1996.

SILVA, F.C. **Uso agrônômico de "resíduo orgânico": efeitos em fertilidade do solo e qualidade da cana de açúcar.** 1995. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

SILVA, F.C. et al. **Recomendações técnicas para o uso agrícola do composto de lixo urbano no Estado de São Paulo.** Campinas: Embrapa Informática e Agropecuária, 2002. (Circular Técnica 3)

SILVEIRA, A.P.D.; BERTON, R.S.; ABREU, C.A. Microbial activity as influenced by organic residue application to soil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MICROBIAL ECOLOGY, 7., 1995, Santos. **Anais...** Santos: ISME, 1995. p.108.

STEVENSON, F.J. **Cycles of soil, carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients.** New York: John Wiley, 1986.

TRINDADE, A.V. et al. Interação de composto de lixo urbano e fungos micorrízicos na nutrição e crescimento do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, n.2, p.199-208, 1996.

TYLER, G. et al. Heavy metal ecology of terrestrial plants, microorganisms and invertebrates. A Review. **Water, Air, and Soil Pollutions**, v.47, p.189-215, 1989.