

Uso de Biossólido em Plantios Florestais



ISSN 1517-5111

Dezembro, 2007

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Cerrados
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 202

Uso de Biossólido em Plantios Florestais

*Sebastião Pires de Moraes Neto
Cassio Hamilton Abreu Júnior
Takashi Muraoka*

Embrapa Cerrados
Planaltina, DF
2007

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Cerrados

BR 020, Km 18, Rod. Brasília/Fortaleza

Caixa Postal 08223

CEP 73310-970 Planaltina, DF

Fone: (61) 3388-9898

Fax: (61) 3388-9879

<http://www.cpac.embrapa.br>

sac@cpac.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: *José de Ribamar N. dos Anjos*

Secretário-Executivo: *Maria Edilva Nogueira*

Supervisão editorial: *Fernanda Vidigal Cabral de Miranda*

Revisão de texto: *Francisca Elijani do Nascimento*

Normalização bibliográfica: *Rosângela Lacerda de Castro*

Editoração eletrônica: *Leila Sandra Gomes Alencar*

Capa: *Leila Sandra Gomes Alencar*

Foto da capa: *José Luiz Gava*

Impressão e acabamento: *Divino Batista de Sousa*

Jaime Arbués Carneiro

Impresso no Serviço Gráfico da Embrapa Cerrados

1ª edição

1ª impressão (2007): tiragem 100 exemplares

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Cerrados

M827u Moraes Neto, Sebastião Pires de.

Uso de biossólido em plantios florestais / Sebastião Pires de Moraes Neto, Cassio Hamilton Abreu Júnior, Takashi Muraoka. – Planaltina, DF : Embrapa Cerrados, 2007.

26 p.— (Documentos / Embrapa Cerrados, ISSN 1517-5111 ; 202)

1. Lodo de esgoto. 2. Silvicultura. 3. Composto orgânico. 4. Composto inorgânico. 5. Resíduo orgânico. I. Abreu Júnior, Cassio Hamilton. II. Muraoka, Takashi. III. Título. IV. Série.

628.3 - CDD 21

© Embrapa 2007

Autores

Sebastião Pires de Moraes Neto

Eng. Flor., D.Sc.

Pesquisador, Embrapa Cerrados

spmoraesn@cpac.embrapa.br

Cassio Hamilton Abreu Junior

Eng. Agrôn., D.Sc.

Professor do Centro de Energia Nuclear na Agricultura
(CENA) da Universidade de São Paulo (USP)

Av. Centenário, 303 - São Dimas

Caixa Postal 96, CEP 13400970 - Piracicaba, SP

cahabreu@cena.usp.br

Takashi Muraoka

Eng. Agrôn., Ph.D.

Professor do Centro de Energia Nuclear na Agricultura
(CENA) da Universidade de São Paulo (USP)

muraoka@cena.usp.br

Apresentação

Atualmente, no Brasil, a maior parte do lodo de esgoto gerado nas estações de tratamento de águas residuais é depositado em aterros sanitários ou são despejados a céu aberto. Uma alternativa para minimizar essa prática é o desenvolvimento de processos de tratamento de lodo de esgoto para se obter um resíduo com características biológicas, físicas e químicas desejáveis para sua utilização em áreas agrícolas (biossólido). O uso do biossólido vem, aos poucos, adquirindo uma maior importância como adubo orgânico em plantios florestais. Dessa maneira, o autor discorre neste trabalho sobre o efeito que o biossólido proporciona no crescimento das árvores e possíveis danos ambientais, caso não sejam observadas normas para sua utilização.

Roberto Teixeira Alves

Chefe-Geral da Embrapa Cerrados

Sumário

| | |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| Potencial de uso florestal do bioossólido | 12 |
| Dinâmica de elementos químicos no solo pela aplicação de bioossólido | 17 |
| Considerações finais | 20 |
| Referências | 20 |
| Abstract | 26 |

Uso de Biossólido em Plantios Florestais

Sebastião Pires de Moraes Neto

Cassio Hamilton Abreu Júnior

Takashi Muraoka

Com o aumento da densidade populacional nas cidades, uma grande quantidade de águas residuais passou a ser gerada. Apesar de seu destino ser os cursos d'água, o aumento da conscientização ambiental da sociedade, principalmente no que diz respeito à qualidade de água para consumo humano, tem tornado essa prática cada vez mais inconcebível. Dessa forma, é cada vez mais comum a presença de estações de tratamento de efluentes nas cidades, as quais devolvem aos rios uma água praticamente livre de carga orgânica e de organismos patogênicos.

As práticas usuais de disposição do lodo de esgoto, como os "aterros sanitários e controlados" ou os "despejos a céu aberto", são alternativas de custo elevado ou têm potencial para produzirem impactos ambientais indesejáveis, além de se constituírem, freqüentemente, em focos de problemas de saúde pública, pela contaminação das águas superficiais e subterrâneas, e pela proliferação de animais e insetos vetores de doenças.

Processos de tratamentos de águas residuais vêm sendo aperfeiçoados para se obter um lodo de esgoto ou biossólido com características biológicas, físicas e químicas desejáveis para sua utilização em áreas agrícolas. Por convenção, o termo biossólido tem sido aceito pela comunidade científica, para designar o lodo de esgoto doméstico que tenha passado por uma decomposição microbiológica parcial e que seja passível

de utilização agrícola, sem criar qualquer impacto negativo para o meio (lodo livre de patógenos e com teores de metais e compostos tóxicos muito baixos). A aplicação de biossólido na silvicultura tem se mostrado uma das alternativas de maior viabilidade técnico-econômica; porém, necessita de pesquisas que aprimorem seu processamento nas estações de tratamento, bem como determinar doses puras ou complementadas com adubos minerais, forma de aplicação, lixiviação de nutrientes, dentre outras.

Para a região metropolitana de São Paulo, estima-se que cerca de 286 mil toneladas anuais de lodo em base seca (785 toneladas por dia) serão produzidas no ano de 2015 ([TSUTIYA, 2000](#)). Grande parte do lodo atualmente gerado nos sistemas de tratamento no País tem como destino final os aterros sanitários, sistema oneroso e que limita a reciclagem e reaproveitamento do resíduo. Essa situação gera problemas graves de ordem sanitária, ambiental e de saúde pública. Nos EUA, 33 % do lodo de esgoto tem sido aplicado ao solo, dos quais cerca de 65 % são destinados a solos agrícolas ([SHEARER; SHEARER, 2000](#)).

Em agosto de 1999, ocorreu um grande avanço no tocante à regulamentação do uso de lodo de esgoto na agricultura. A Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental (CETESB) homologou um manual técnico ([CETESB, 1999](#)), redigido na forma de Norma, com critérios para elaboração de projetos, implantação e operação de sistemas de aplicação de biossólido em áreas agrícolas, visando evitar possíveis impactos ambientais. Em virtude do reduzido número de dados científicos existentes no Estado de São Paulo, com relação à utilização agrícola de biossólido, essa Norma foi baseada na legislação da Agência de Controle Ambiental Americana ([UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1993](#)), denominada 40 CFR 503. Desse fato, cabem algumas observações: (i) os limites de metais pesados contidos no lodo e a carga de aplicação ao solo foram definidos para solos e condições climáticas diferentes daquelas encontradas no Brasil; (ii) entre os países desenvolvidos, os Estados Unidos possuem os limites mais permissivos para metais pesados no lodo para aplicação no solo, que chegam a ser cem vezes maiores em relação às normas dos países da União Européia; e (iii) com relação exclusivamente

aos metais pesados, a quantidade máxima que pode ser aplicada ao solo é baseada apenas nos teores totais dos elementos contidos no biossólido, sem levar em consideração a fração biodisponível dos metais e as características químicas e físicas do solo. Dependendo da biodisponibilidade dos metais, esses elementos podem causar toxidez às plantas, ou mesmo tornar alguns produtos agrícolas inadequados ao consumo.

Desde dezembro de 2003, como consequência das considerações citadas anteriormente, e da ocorrência de um acidente ambiental na região de Brasília (contaminação de solo e de corpos d'água por coliformes fecais levando à morte de animais domésticos) ([LIMINAR..., 2003](#)), causado pelo uso indevido de lodo gerado pela Companhia de Saneamento de Brasília (CAESB), uma importante decisão foi tomada pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente/Ministério do Meio Ambiente ao instalar o Grupo de Trabalho sobre Regulamentação de Uso Agrícola de Lodo de Esgoto, para elaboração de uma legislação brasileira para o uso seguro do lodo de esgoto na agricultura. ([CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE, 2004](#)).

Em 12 de abril de 2005, a Câmara Legislativa do DF criou a Lei N° 3.581, onde estabelece princípios, normas e procedimentos para a expedição, distribuição e uso de biossólido no Distrito Federal, visando ao controle da poluição, da contaminação e à minimização de seus impactos ambientais ([BARCELLOS, 2005](#)).

Além de metais pesados, outros compostos orgânicos ou inorgânicos podem estar presentes no biossólido e contaminar as águas subterrâneas e superficiais, devido à lixiviação e/ou escoamento superficial. Entre alguns desses compostos, pode-se mencionar os nitratos e fosfatos. Outrossim, uma das preocupações mais relevantes quanto ao uso do biossólido em culturas comerciais é o desbalanço nutricional que ele pode ocasionar às plantas. Esse desbalanço pode ser provocado, por exemplo, pelo excesso de nitrogênio ou fósforo, ou pela escassez de potássio no biossólido, ou pela lixiviação de íons ([BERTONCINI; MATTIAZZO, 1999](#)).

As características mineralógicas e eletroquímicas dos solos, assim como a natureza das substâncias húmicas presentes em sua constituição, são elementos decisivos na retenção dos compostos químicos, e podem informar sobre a estabilidade das ligações formadas, dando indicações da quantidade de biossólido que poderia ser aplicada em determinado sítio. Quando um elemento químico chega ao solo por meio de um material qualquer, ele passa a interagir com diferentes componentes, participando dos sistemas de equilíbrio que atuam no solo, como equilíbrio ácido/base, precipitação/dissolução, complexação, oxidação/redução e adsorção/dessorção. A intensidade desses processos é afetada pelos diferentes atributos do solo tais como: pH, teor de matéria orgânica e de óxidos, textura, potencial redox, entre outros ([REIS, 2002](#)).

O efeito do biossólido sobre o pH dos solos é dependente do tipo de tratamento que o resíduo recebeu, taxa e frequência de aplicação e das diversas propriedades do solo ([OLIVEIRA et al., 2002](#)). Biossólidos condicionados com cal possuem grande poder de neutralização da acidez do solo em razão de sua alcalinidade (pH acima de 10). No entanto, mesmo biossólidos alcalinos podem acidificar o solo em decorrência de mineralização e nitrificação do N orgânico, que libera íons H^+ e, inclusive, contribui para a lixiviação de cátions ([HARRISON et al., 1996](#)). Quando a aplicação de biossólido neutro, condicionados com polieletrólitos (polímeros com mais de uma área eletrolítica na sua molécula), poderá ocorrer um aumento inicial do pH do solo, ocasionado pelo poder de neutralização das reações envolvidas na degradação da carga orgânica do resíduo. No entanto, esse efeito pode ser de curta duração e seguido por processos acidificantes ([LOPES, 2001](#); [BOEIRA et al., 2002](#)).

Potencial de uso florestal do biossólido

É incontestável a importância social, econômica e ambiental dos plantios florestais para o País: além de fornecerem lenha, carvão, madeira e celulose – negócios que movimentam US\$ 20 bilhões por ano, algo em

torno de 5 % do Produto Interno Bruto Nacional (BRASIL, 2003), as florestas auxiliam na conservação de mananciais de água, do solo e da biodiversidade e, finalmente, na regulação do clima.

O Brasil tem 6,4 milhões de hectares de florestas plantadas, sendo 4,8 milhões de hectares de pinus e eucaliptos ([BRASIL, 2003](#)). A Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo, nos anos de 1999 e 2000, apontou que 3,1 % do território do estado são de áreas reflorestadas – cerca de 770 mil ha, sendo 611.516 ha (79,4 %) com eucaliptos e 158.494 ha (20,6 %) com pinus.

A crescente demanda por produtos florestais, a necessidade e perspectiva de ampliação das áreas destinadas ao plantio de florestas homogêneas e a baixa fertilidade dos solos destinados a esta atividade forçam o aumento no consumo de fertilizantes no setor florestal. Todavia, o uso de fertilizantes orgânicos, tal como o biossólido, poderá contribuir para a redução do uso de fertilizantes minerais e, possivelmente, para a redução do custo de produção de espécies florestais. A proximidade dos plantios de florestas comerciais das áreas urbanas endossa o grande potencial de uso do lodo de esgoto. O uso em plantios florestais é considerado pelo plano diretor da SABESP como uma das principais opções para a gestão racional do lodo de esgoto produzido na região metropolitana de São Paulo ([TSUTIYA, 2001](#)).

Algumas diferenças que favorecem a aplicação do biossólido em plantios florestais em relação a grande parte das culturas agrícolas são as aplicações espaçadas em longos períodos ([POGGIANI et al., 2000](#)) e o fato de que os produtos obtidos nesses sistemas, geralmente, não são voltados ao consumo humano ou animal ([GONÇALVES et al., 2000](#)).

O uso do biossólido em espécies arbóreas tem sido relatado na Europa, Austrália e América do Norte desde a década de 1970 ([POGGIANI et al., 2000](#)). No Brasil, ainda são poucas e recentes as informações sobre a aplicação do biossólido em plantios florestais ([ANDRADE; MATTIAZZO, 2000](#); [FARIA, 2000](#); [GUEDES, 2000](#); [MARTINS, 2002](#); [ROCHA, 2002](#); [SOARES, 2003](#); [VAZ; GONÇALVES, 2002](#); [ANDRADE et al., 2005](#); [GUEDES et al., 2006](#)).

A aplicação de biossólido em plantios florestais tem produzido maior produtividade comparativamente a áreas onde não foi aplicado esse material e, em alguns casos (geralmente com a adição de adubo potássico), superam em produtividade plantios onde foi realizada adubação com doses ótimas recomendadas.

Estudos conduzidos na Universidade de Washington, sobre o uso do biossólido como fertilizante para silvicultura, revelaram aumentos de altura e acréscimos de diâmetro bastante expressivos em comparação com plantas controle ([UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1984](#)). Dados dos primeiros anos de um experimento com aplicação única de biossólido num plantio de *Picea sitchensis* foram divulgados por [Dutch e Wolstenholme \(1994\)](#). Os autores utilizaram-se de duas doses de biossólido: 13 e 26 t ha⁻¹ (base seca), que possuíam 445 kg ha⁻¹ de N e 128 kg ha⁻¹ de P, na menor dose, incorporados num solo turfoso, antes do plantio das mudas. Verificaram, aos 7 anos de idade do povoamento, que as plantas mostraram um crescimento equivalente ao tratamento convencional mais intensivo, no qual houve duas aplicações de fósforo e nitrogênio, e controle de plantas daninhas com herbicida.

[Santos et al. \(1997\)](#), relatando trabalhos desenvolvidos nos Estados Unidos, citaram ganhos médios em altura de 72 % (solos de baixa fertilidade), 14 % (solos de fertilidade média) e 12 % (solos com boa fertilidade), para três espécies arbóreas plantadas em solos que receberam 47 t ha⁻¹ de biossólido (base seca) no plantio e avaliadas após 10 anos de crescimento. Florestas mais antigas mostraram o mesmo tipo de resposta, quando receberam doses semelhantes de biossólido, em plantações com 65 anos de idade, observando-se, ao final de 6 anos da aplicação, ganhos de 65 % em crescimento, no solo de baixa fertilidade, e de 40 %, no de alta fertilidade.

[Soares \(2003\)](#) realizou experimento com doses de biossólido (desidratado com polímero): 10, 20 e 40 t ha⁻¹ em base seca, suplementadas com P e K e aplicadas superficialmente, em um Latossolo Vermelho-Amarelo, sob o sistema de cultivo mínimo, antes do plantio de *Eucalyptus grandis*.

Observou que as plantas na dose de 20 t ha⁻¹ mostraram um crescimento em altura e diâmetro superior ao tratamento com fertilização mineral, aos 22 meses do plantio.

O uso do biossólido não afetou as propriedades mecânicas da madeira (flexão, compressão, densidade e o número de anéis de crescimento) de *Pinus taeda* de 7 anos em relação ao controle (sem adubação) ([LEE et al., 1999](#)).

A aplicação de biossólido causa mudanças químicas no solo, podendo acumular também metais pesados na serrapilheira. Na recuperação de uma área degradada, na Austrália, utilizando-se um solo artificial, constituído de resíduos industriais e biossólido, plantaram-se mudas arbóreas de *Corymbia maculata*, *Acacia floribunda* e *Callistemon salignus*, dentre outras. Observou-se que o C orgânico, N total, N disponível e P acumularam no solo até 6-10 anos, decrescendo levemente aos 11 anos. Aos 2 anos, houve um aumento no diâmetro do tronco de 14,4 cm para *C. maculata*; 9,4 cm para *A. floribunda* e 3,9 cm para *C. salignus* ([COX; WHELAN, 2000](#)).

Mudanças nas propriedades de um solo de textura arenosa foram avaliadas após a aplicação e incorporação de 500 t ha⁻¹ de biossólido digerido anaerobiamente, e posterior plantio de mudas de *Populus nigra* var. *italica* (poplar), *Pseudotsuga menziesii* (Douglas-fir) e *Pinus ponderosa* (ponderosa pine). Observou-se, 16 anos após o início do experimento, que, na área onde se aplicou o biossólido, o solo mostrou concentrações superiores de C (139 vs 67 g kg⁻¹), N (12 vs 3,4 g kg⁻¹), P (14 vs 2,2 g kg⁻¹) e S (2,5 vs 0,4 g kg⁻¹), na camada de 0 cm-25 cm do solo, quando comparados ao controle (sem adubação) ([HARRISON et al., 1994](#)).

Experimento de campo foi conduzido em um povoamento de 13 anos de *Picea sitchensis*, sobre uma turfa oligotrófica rasa, para investigar mudanças no pH e concentrações de metais pesados no solo e no crescimento das árvores, em resposta a aplicação de biossólidos alcalinos de origem rural e urbana, distribuídos superficialmente no solo. Existiam

cinco tratamentos: (1) controle (sem adubação); (2 – 4) biossólido da zona rural nas doses de 20, 40 e 60 t ha⁻¹ de matéria fresca (MF) (48 % de matéria seca); e (5) biossólido da zona urbana aplicado em uma só dose (40 t ha⁻¹ de MF, 40 % de matéria seca). Após a aplicação de biossólido, observou-se, nos primeiros anos, um acúmulo de Cu, Zn, Ni, Cd, Pb e Cr na serrapilheira, especialmente nas duas maiores doses. Na camada de 0 cm-5 cm da turfa, houve aumento do pH proporcionalmente ao acréscimo das doses de biossólido. O crescimento médio anual das árvores para as maiores doses de biossólido (40 e 60 t ha⁻¹, urbano ou rural) foi maior do que as do controle ([LUO; CHRISTIE, 2001](#)).

[Guedes et al. \(2006\)](#) realizaram experimento com biossólido alcalino em tubos de PVC de 20 cm de diâmetro e 100 cm de comprimento preenchidos com Latossolo Vermelho-Amarelo, onde plantou-se *Eucalyptus grandis*. O ensaio foi montado com nove tratamentos (testemunha, adubação mineral e doses crescentes de biossólido variando de 10 a 160 t ha⁻¹, em base seca), onde foi analisado após 12 meses do plantio das mudas. Observaram que os teores de N, P e S nas folhas correlacionaram-se com a CTC e com o teor de C orgânico do solo, tendo essas variáveis apresentado valores significativamente mais elevados nas doses de 80 e 160 t ha⁻¹. Notaram também uma diminuição da matéria orgânica do solo nas doses de 10 a 40 t ha⁻¹.

Experimento significativo com o uso de biossólido em plantio de *Eucalyptus grandis* vem sendo realizado em área experimental (Anhembí, SP) do Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, onde esse resíduo foi aplicado superficialmente aos 4 meses do plantio num Latossolo Vermelho-Amarelo de textura arenosa. Avaliou-se, até o momento, o estado nutricional e o crescimento das plantas ([ROCHA, 2002](#); [VAZ; GONÇALVES, 2002](#)), a reciclagem de nutrientes ([GUEDES, 2000](#)), a lixiviação de nitratos e metais pesados ([ANDRADE; MATTIAZZO, 2000](#)) e a qualidade da matéria orgânica e estoques de carbono e nitrogênio ([ANDRADE et al., 2005](#)). Os tratamentos foram: T1) testemunha (sem adubação); T2) adubação mineral; T3) 5 t ha⁻¹ do biossólido + K; T4) 10 t ha⁻¹ + K; T5) 10 t ha⁻¹; T6) 10 t ha⁻¹ + K + P;

T7) 15 t ha⁻¹ + K; T8) 20 t ha⁻¹ + K; e T9) 40 t ha⁻¹ + K. Aos 360 dias da aplicação do biossólido, não se observaram, para os tratamentos 1, 4, 8 e 9, alterações nos teores de N-total e de N-NO₃⁻ no solo, nas várias profundidades analisadas (0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-60 cm e 60-90 cm). Porém, o teor de N nas folhas aumentou linearmente com as doses de biossólido. Em relação à reciclagem de nutrientes, após 16 meses do plantio, o folheto depositado por um ano pelas plantas que receberam 40 kg ha⁻¹ (T9) foi 136 % maior do que as da testemunha e 40 % do que as da adubação mineral (T2). Também, nas plantas do T9, houve uma maior taxa de decomposição do folheto em relação às dos demais tratamentos. Esse fato pode ter contribuído para uma maior concentração de lignina na camada de 0 cm-5 cm de solo no T9 após 5 anos do início do experimento. Também, aos 5 anos e na camada de 0 cm-5 cm, verificou-se que o solo no T9 mostrou maiores CTC (capacidade de troca catiônica) efetiva e pH do que outros tratamentos. Quanto à produção de madeira, aos 36 meses de idade do povoamento, os tratamentos que apresentaram plantas com maior produtividade foram o T6 e o T9.

Dinâmica de elementos químicos no solo pela aplicação de biossólido

Os biossólidos apresentam de 7,2 a 30 g kg⁻¹ de N total (REUTER, 2000), sendo aproximadamente 90 % na forma orgânica. Esse nitrogênio, uma vez mineralizado, pode ser convertido a NO₃⁻, podendo contaminar águas superficiais por arraste das enxurradas e subterrâneas por lixiviação ([GERKE et al., 1999](#)).

O consumo de águas com teores de NO₃⁻ acima dos limites recomendados pela Organização Mundial de Saúde (OMS) pode ocasionar problemas de saúde em animais e em seres humanos, especialmente em crianças menores de três anos de idade ([NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1972](#)). Por esses motivos, um dos critérios que limita a quantidade aplicada do biossólido é o teor de N presente no material ([CETESB, 1999](#)), onde é

relatado que “a aplicação de biossólido em toneladas por hectare não deverá exceder o quociente entre a quantidade de nitrogênio recomendada para a cultura (em kg/ha) e o teor de nitrogênio disponível no biossólido”.

O fósforo (P) também tem sido identificado como um dos principais fatores de eutrofização de cursos d’água ([MAGUIRE et al., 2000](#)). Sua forma inorgânica é a predominante no biossólido ([FROSSARD et al., 1996](#)) e é a fração que alimenta a maior parte dos processos metabólicos e sintéticos dos microrganismos nos estágios iniciais da decomposição ([DALAL, 1977](#)). [McDowell e Sharpley \(2001\)](#) alertam que a aplicação de biossólido pode resultar na saturação dos sítios de adsorção do solo, no maior potencial de dessorção de P para a solução do solo e, como conseqüência, em perdas por lixiviação, contudo, em solos tropicais com grande capacidade de fixação de P, provavelmente esse problema seja minimizado. Em florestas, o excesso de P nos solos pode ainda provocar diminuição da produtividade, por favorecer o maior crescimento de plantas invasoras e, conseqüentemente, aumentar a competição entre esta e a cultura por água e nutrientes ([NOVAIS; SMITH, 1999](#)), caso esta não seja controlada. No entanto, o P é um elemento crítico à nutrição e ao crescimento das espécies arbóreas, principalmente em sua fase inicial de crescimento.

[Mitchell et al. \(2000\)](#) assinalaram três fases de cultivo como as mais críticas para perdas de N e P em *Pinus sylvestris*. A primeira é por ocasião do plantio das mudas, com riscos de perdas via escoamento superficial. Essa fase é mais crítica em solo nu, sendo minimizado pela presença de resíduos vegetais na superfície do solo (como no cultivo mínimo) e práticas conservacionistas, como plantio em nível e terraceamento. A segunda fase está relacionada às maiores taxas de mineralização do N e conseqüente risco de lixiviação desse elemento. A terceira fase é após o corte raso, quando a absorção de N pelas plantas é diminuída bruscamente, podendo também ocorrer sua lixiviação. [Henry et al. \(1994\)](#), aplicando 47 t ha⁻¹ de biossólido (base seca) em solo de florestas cultivadas, em diferentes épocas de cultivo, observaram que os maiores riscos de lixiviação de NO₃⁻ ocorreram na seguinte ordem decrescente: florestas maduras, áreas recentemente cortadas e florestas jovens (perdas de 57, 25 e 10 mg L⁻¹ de

NO_3^- , respectivamente, a 50 cm de profundidade). Segundo os autores, a lixiviação ocorre em grande parte durante o primeiro ano após a aplicação de biossólido, diminuindo drasticamente nos anos seguintes e alcançando níveis toleráveis no terceiro ano após a aplicação.

Estudos sobre a movimentação de metais em solos tratados com biossólido sugerem que a quantidade de metais lixiviados, embora seja menor que 1 % do total adicionado, pode elevar-se em solos arenosos, com baixos teores de matéria orgânica e sujeitos a chuvas intensas. De um modo geral, os metais pesados adicionados ao solo pelo lodo permanecem retidos na camada superficial, por processos de adsorção ou complexação, até que mudanças ocorram no sistema ([TAYLOR et al., 1995](#)). Pesquisas no Brasil têm demonstrado que os metais Cr, Cu, Ni e Pb apresentam baixa mobilidade, acumulando-se na camada do solo onde o biossólido foi incorporado, enquanto o Zn e, principalmente, o Cd são relativamente móveis e, portanto, apresentam maior potencial para contaminar o subsolo e as águas subterrâneas ([OLIVEIRA, 2000](#)).

O comportamento de metais também é influenciado pela interação com cátions presentes no solo. [Zhu e Alva \(1993\)](#) observaram que, em solos neutros ou alcalinos, o transporte de Cu e Zn para camadas profundas do solo foi relativamente baixo, quando corrigidos com CaSO_4 ou MgSO_4 ; porém, o uso de uma solução de K_2SO_4 aumentou o transporte desses metais, enquanto o uso de CaSO_4 e MgSO_4 minimizou o transporte de C orgânico dissolvido e, conseqüentemente, de metais complexados por ligantes orgânicos. Os resultados desse estudo indicam que o transporte de Cu ou Zn em solos arenosos depende do pH e da matéria orgânica do solo. Interações desses fatores afetam a solubilidade e especiação de metais traço no solo. O aumento do pH e a concentração de cátions monovalentes altamente hidratados tendem a favorecer a dispersão da matéria orgânica do solo. Em contraste, a presença de cátions divalentes, assim como o Ca, aumenta a coagulação e decresce a dispersão da matéria orgânica do solo. [Bertoncini e Mattiazzo \(1999\)](#), num experimento realizado em tubos de percolação de 25 cm de altura, observaram que a adição de uma solução de KCl provocou o arraste de 5 % do Cd adicionado via biossólido em

Latossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho. Soluções de KCl e K_2SO_4 aumentaram a mobilidade do Ni, em Neossolo Quartzarênico, e do Cu, nos três solos estudados. Esta tendência também ocorreu para o Cr, no Neossolo, somente para o KCl. Uma das possíveis causas para esse fato baseia-se na ordem preferencial de adsorção de ânions ([BOLT, 1976](#)), onde o Cl⁻ é menos adsorvido que o SO_4^{2-} , podendo, dessa maneira, o primeiro arrastar o Cr em maior quantidade do que o segundo.

Considerações finais

As pesquisas de campo em condições tropicais, em especial no Brasil, são ainda limitadas em relação à diversidade de sítios florestais, formas de aplicação, tipos e suplementação de nutrientes com adubo mineral, fatores que podem afetar decisivamente o comportamento do lodo de esgoto quando aplicado no solo, assim como as respostas das plantas. De maneira geral, as doses que poderiam ser recomendadas nos plantios florestais, variam de 20 a 60 t ha⁻¹ em base seca, contudo devem ser observadas as lixiviações e escorrimentos superficiais, especialmente do nitrogênio, fósforo e metais pesados, para evitar danos ao meio ambiente. Os adubos K_2SO_4 e KCl aumentam a mobilidade de alguns metais pesados e, por esse motivo, merecem uma maior atenção em sua aplicação.

Referências

- ANDRADE, C. A.; MATTIAZZO, M. E. Nitratos e metais pesados no solo e nas árvores após aplicação de biossólido (lodo de esgoto) em plantações florestais de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, n. 58, p. 59-72, 2000.
- ANDRADE, C. A.; OLIVEIRA, C.; CERRI, C. C. Qualidade da matéria orgânica e estoques de carbono e nitrogênio em latossolo tratado com biossólido e cultivado com eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 803-816, 2005.
- BARCELLOS, F. **Lei nº 3.581, de 12 de abril de 2005**. Estabelece princípios, normas e procedimentos para a expedição, distribuição e uso de biossólido no Distrito Federal, visando ao controle da poluição, da contaminação e à minimização de seus impactos ambientais e adota outras

providências. Disponível em: <http://sileg.sga.df.gov.br/sileg/default.asp?arquivo=http%3A//sileg.sga.df.gov.br/sileg/legislacao/distrital/LeisOrd/LeiOrd2005/lei_ord_3581_05.htm>. Acesso em: 10 out. 2007.

BERTONCINI, E. I.; MATTIAZZO, M. E. Lixiviação de metais pesados em solos tratados com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 737-744, 1999.

BOEIRA, R. C.; LIGO, M. A. V.; DYNIA, J. F. Mineralização de nitrogênio em solo tropical tratado com lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 11, p. 1639-1647, 2002.

BOLT, G. H. Adsorption of anions by soils. In: BOLT, G. H.; BRUGGENWERT, M. G. M. (Ed.). **Soil chemistry: a basic elements**. Amsterdam: Elsevier Scientific, 1976. p. 91-95.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Programa Nacional de Florestas: política nacional de florestas**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/sbf/pnf/politica.html>>. Acesso em: 17 mar. 2003.

CETESB. **Aplicação de biossólido de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas: critérios para projeto e operação**. São Paulo, 1999. 35 p. (Manual técnico. Norma P4.230).

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **Regulamentação do uso agrícola de lodo de esgoto**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/index.cfm>>. Acesso em: 29 jan. 2004.

COX, J. A.; WHELAN, R. J. Soil development of an artificial soil mix: nutrient dynamics, plant growth, and initial physical changes. **Australian Journal of Soil Research**, v. 38, p. 465-477, 2000.

DALAL, R. C. Soil organic phosphorus. **Advances in Agronomy**, v. 29, p. 83-117, 1977.

DUTCH, J.; WOLSTENHOLME, R. The effects of sewage sludge application to a heathland site prior to planting with Sitka spruce. **Forest Ecology and Management**, v. 66, n. 1/3, p. 151-163, 1994.

FARIA, L. C. **Fertilização de povoamentos de eucalipto com o biossólido da ETE de Barueri, SP: demanda potencial e nível mínimo de resposta**. 2000. 85 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

FROSSARD, E.; SINAJ, S.; DUFOUR, P. Phosphorus in urban sewage sludges as assessed by isotopic exchange. **Soil Science Society of América Journal**, v. 60, p. 179-182, 1996.

GERKE, H. H.; ARNING, M.; STÖPPLER-ZIMMER, H. Modeling long-term compost application effects on nitrate leaching. **Plant and Soil**, v. 213, n. 1/2, p. 75-92, 1999.

GONÇALVES, J. L. M.; VAZ, L. M. S.; AMARAL, T. M.; POGGIANI, F. Aplicabilidade de biossólidos em plantações florestais: efeito na fertilidade do solo, nutrição e crescimento das árvores. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. cap. 9, p.179-195.

GUEDES, M. C. **Efeito do lodo de esgoto (biossólido) sobre a nutrição, ciclagem de nutrientes e crescimento de sub-bosque, em plantação de eucalipto**. 2000. 74 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

GUEDES, M. C.; ANDRADE, C. A. de; POGGIANI, F.; MATIAZZO, M. E. Propriedades químicas do solo e nutrição do eucalipto em função da aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 2, p. 267-280, 2006.

HARRISON, R. B.; XUE, D.; HENRY, C.; COLE, D. W. Long-term effects of heavy applications of biosolids on organic matter and nutrient content of a coarse-textured forest soil. **Forest Ecology and Management**, v. 66, n. 1/3, p.165-177, 1994.

HARRISON, R. B.; GESSEL, S. P.; ZABOWSKI, D.; HENRY, C. L.; XUE, D.; COLE, D. W.; COMPTON, J. E. Mechanisms of negative impacts of three forest treatments on nutrient availability. **Soil Science Society of America Journal**, v. 60, n. 6, p. 1622-1628, 1996.

HENRY, C. L.; COLE, D. W.; HARRISON, R. B. Use of municipal sludge to restore and improve site productivity in forestry: the pack forest sludge research program. **Forest Ecology and Management**, v. 66, n. 1/3, p. 137-149, 1994.

LEE, A. W. C.; CHEN, G.; DICKENS, D. E.; MILLER, A. E. Selected mechanical properties of wood produced by loblolly pine trees fertilized with sludge. **Forest Products Journal**, v. 49, n. 9, p. 43-47, 1999.

LIMINAR proíbe CAESB de doar lodo de esgoto. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 25 mar. 2003.

LOPES, E. B. M. **Diversidade metabólica em solos tratados com biossólidos**. 2001. 65 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

LUO, Y. M.; CHRISTIE, P. Short-term effects of alkaline biosolids on pH and trace metals in oligotrophic forest peat and on growth of *Picea sitchensis*. **Forestry**, v. 74, n. 2, p. 145-160, 2001.

MAGUIRRE, R. O.; SIMS, J. T.; COALE, F. J. Phosphorus solubility in biosolids: amended farm soils in the Mid: Atlantic Region of the USA. **Journal of Environmental Quality**, v. 29, n. 4, p. 1225-1233, 2000.

MARTINS, L. F. S. **Configuração do sistema radicular de árvores de *Eucalyptus grandis* em resposta à aplicação de doses crescentes de biossólido**. 2002. 73 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

McDOWELL, R. W.; SHARPLEY, A. N. Phosphorus losses in subsurface flow before and after manure application to intensively farmed land. **The Science of the Total Environment**, v. 278, n. 1/3, p. 113-125, 2001.

MITCHELL, D. S; EDWARDS, A. C.; FERRIER, R. C. Changes in fluxes of N and P in water draining a stand of Scots pine treated with sewage sludge. **Forest Ecology and Management**, v. 139, n. 1/3, p. 203-213, 2000.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Accumulation of nitrate**. Washington: National Academy of Science, 1972. 106 p.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. Fósforo e ambiente. In: NOVAIS, R. F. de; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, 1999. p. 290-302.

OHIO ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Division of surface water**: general information. Disponível em: <<http://chagrin.epa.ohio.gov/programs/sludge/1html>> . Acesso em: 03 mai. 2000.

OLIVEIRA, F. C. **Disposição de lodo de esgoto e composto de lixo urbano num Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar.** 2000. 246 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E.; MARCIANO, C. R.; ROSSETTO, R. Efeito de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em um Latossolo Amarelo Distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 2, p. 505-520, 2002.

POGGIANI, F.; GUEDES, M. C.; BENEDETTI, V. Aplicabilidade de biossólido em plantações florestais I. Reflexo no ciclo dos nutrientes. In: BETIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Ed.). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. cap. 8, p. 163-178.

REIS, T. C. **Distribuição e biodisponibilidade do níquel aplicado ao solo como NiCl₂ e biossólido.** 2002. 105 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

REUTER, R. **Sewage sludge as an organic amendment for reclaiming surface mine wastes.** Disponível em: <http://www.hort.agri.umn.edu/h5015/97_papers/reuter.html>. Acesso em: 08 maio 2000.

ROCHA, G. N. **Monitoramento da fertilidade do solo, nutrição mineral e crescimento de um povoamento de *Eucalyptus grandis* fertilizado com biossólido.** 2002. 48 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SANTOS, H. F.; GUIMARÃES, M. O.; GIUSTI, P. E. A. Uso do lodo de ETES em reflorestamentos. In: ENCONTRO TÉCNICO DA ASSOCIAÇÃO DE ENGENHEIROS DA SABESP, 1997, São Paulo. **Anais.** São Paulo: SABESP, 1997. p. 1-23.

SHEARER, A.; SHEARER, B. **Land applied sludges: solution or problem?** Disponível em: <<http://ce.edu/enviro2/gwprimer/group09/intro.htm>>. Acesso em: 08 maio 2000.

SILVEIRA, R. L. V.A. **Efeito do potássio no crescimento, nas concentrações dos nutrientes e nas características da madeira juvenil de progênes de**

***Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden cultivadas em solução nutritiva.**

2000. 169 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SOARES, M. T. S. Taxas de mineralização e de lixiviação do nitrogênio, e alterações da fertilidade de um latossolo vermelho-amarelo degradado e outro não degradado fertilizados com biossólido e florestados com *Eucalyptus grandis*.

2003. 142 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

TAYLOR, R. W.; XIU, H.; MEHADI, A. A.; SHUFORD, J. W.; TADESSE, W. Fractionation of residual cadmium, copper, nickel, lead and zinc in previously sludge-amended soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 26, p. 2193-2204, 1995.

TSUTIYA, M. T. Alternativas de disposição final de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Ed.). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa, 2000. cap. 4, p. 69-105.

TSUTIYA, M. T. Alternativas de disposição final de biossólidos. In: TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; SOBRINHO, P. A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P. C. T.; MELFI, A. J.; MELO, W. J.; MARQUES, M. O. **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001. cap. 5, p. 133-180.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Environmental regulations and technology: use and disposal of municipal wastewater sludge**. Washington, 1984. EPA 625/10-84-003.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Standards for use or disposal of sewage sludge**. Washington, 1993. EPA 40 CFR 503.

VAZ, L. M. S.; GONÇALVES, J. L. M. Uso de biossólidos em povoamento de eucalipto: efeito em atributos químicos do solo, no crescimento e na absorção de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 3. p. 747-758, 2002.

ZHU, B.; ALVA, A. K. Trace metal and cation transport in a sandy soil with various amendments. **Soil Science Society of American Journal**, v. 57, p. 723-727, 1993.

Use of the Biosolid in Forest Plantations

Abstract

With the increase of the population density in the cities, a great amount of residual waters passed to be generated. The usual practical ones of disposal of the sewage sludge, as the "sanitary and controlled embankment" or the "oustings the opened sky", are alternative of cost to each day more raised or have potential to produce impacts ambient undesirable, beyond constituting, frequently, in focus of problems of public health, through contamination of superficial and underground waters, and of the proliferation of animals and insects vectors of illnesses. Processes come being perfected to get a sewage sludge with biological, physical and chemical characteristics desirable for its use in agricultural areas, as biosolid. Data on the effect of its application in forest ground are mentioned in an extensive way in this work, as well as on the dynamics of elements as nitrogen, phosphorus and heavy metals, which depending on its sum that it is injected in the ground can cause effect undesirable to the environment.

Index terms: sewage sludge, organic fertilizer, nitrogen, phosphorus, heavy metals.