

Alterações das Propriedades Físico-Hídricas do Solo pelo Uso do Lodo de Esgoto na Recuperação de Área Degradada do Entorno do Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro

*Flávio Barbosa Bezerra*¹
*Aluísio Granato de Andrade*²
*Daniel Vidal Pérez*²
*Neli do Amaral Meneguelli*²
*Júlio Kornetz Alves de Souza Pontes*³
*José Raimundo Silvado Pinto de Abreu*⁴

Introdução

No Brasil, o surgimento de áreas degradadas é crescente. Este tipo de degradação do meio ambiente está, em sua maior parte, relacionado às atividades antrópicas, como mineração, construção de estradas, de barragens, de aeroportos e de áreas agrícolas mal manejadas (Duda *et al.*, 1999). Tais áreas se caracterizam pela remoção do horizonte superficial do solo, ocasionando a perda de nutrientes e de matéria orgânica, ausência de atividade biológica e propriedades físicas alteradas, favorecendo a atuação dos processos erosivos (Prosab, 1999).

A recuperação de áreas degradadas não é um procedimento rápido e está diretamente relacionada com a capacidade de recuperação do solo, onde são empregadas técnicas que estimulam a atividade biológica como principal agente remediador desses ambientes. Segundo Jorba & Andrés (2000), em situações em que o horizonte superficial do solo foi removido e uma nova camada deve ser aplicada sobre o substrato inerte, antes da restauração com cobertura vegetal, assim como em situações em que o solo nativo foi preservado em alguma proporção, como no caso de solos florestais após queimadas, a aplicação de fertilizantes e condicionadores de solo é recomendada para garantir o sucesso da disseminação da proteção arbórea na área a ser restaurada.

O lodo de esgoto tem sido utilizado largamente como condicionador e fertilizante para recuperação de áreas de mineração (Brofas *et al.*, 2000). Rico em matéria orgânica e nutrientes, essenciais ao desenvolvimento dos vegetais, desperta interesse pelo seu potencial para utilização em atividades agrônômicas, atuando como condicionador das propriedades físicas do solo, bem como fornecedor de nutrientes. A matéria orgânica está interrelacionada com diversas características do solo definindo seu potencial produtivo e susceptibilidade à erosão (Sopper, 1993). Sua mineralização é um dos principais processos bioquímicos conduzidos pela microbiota do solo e caracteriza-se por controlar o fluxo de nutrientes minerais no sistema solo-planta e a produção de biomassa e húmus.

Os ecossistemas florestais apresentam-se altamente favoráveis à aplicação do lodo, visto que este possibilita o fornecimento mais equilibrado de nutrientes, reduzindo significativamente as perdas por erosão e lixiviação, pois há grande incorporação de carbono orgânico em seus componentes, capazes de imobilizar grandes quantidades de nutrientes e metais pesados, assim como a grande quantidade de raízes perenes profundas permite absorção desses elementos, durante todo o ano, em regiões tropicais (Gonçalves *et al.*, 2000).

¹Técnico de Nível Superior da Embrapa Solos. Rua Jardim Botânico, 1024. Rio de Janeiro, RJ. CEP: 22460-000. E-mail: sac@cnpes.embrapa.br

²Pesquisador da Embrapa Solos.

³Assistente de Operações da Embrapa Solos.

⁴Instituto de Florestas da UFRRJ, BR 465, km 07, Seropédica, RJ. CEP: 23851-970.

Este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da aplicação do lodo de esgoto, produzido pela Estação de Tratamento de Esgoto do Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro - Galeão/ Antônio Carlos Jobim (ETAR-APOIO), sobre as propriedades físico-hídricas do solo, na área experimental da Jazida do Itacolomi, situada na área patrimonial do aeroporto.

Material e Métodos

Foram coletadas amostras simples do lodo da ETAR-APOIO, em 10 pontos diferentes, distribuídos aleatoriamente, em cada um dos 8 leitos de secagem da Estação, sendo misturadas e homogeneizadas, formando uma única amostra composta de, aproximadamente, 40kg. Em laboratório, o material foi levado à estufa para secagem, à 40°C e, posteriormente, destorroado e passado em peneira de malha de 2mm. Sua composição química parcial foi determinada, após digestão nitroperclórica, através de análise multielementar por espectrometria de emissão por plasma indutivamente acoplado (ICP-OES), e as demais variáveis de acordo com o Manual de Métodos de Análises de Solos (Embrapa, 1997).

O experimento foi instalado em março de 2001, segundo o delineamento fatorial 2x5 em blocos casualizados, com 4 repetições. As leguminosas utilizadas foram *Mimosa caesalpinifolia* (Sabiá) e *Mimosa bimucronata* (Maricá), inoculadas com bactérias fixadoras de nitrogênio do gênero *Rhizobium* e fungos micorrízicos, e as doses de lodo, aplicadas em cova, 0,00; 2,85; 5,70; 11,40 e 22,80 t ha⁻¹, respectivamente. Em maio de 2003, foram coletadas amostras da camada superficial do solo (0 - 20 cm de profundidade), na área útil de cada parcela do experimento. Em seguida, foi efetuada uma nova aplicação de lodo, desta vez recobrindo, superficialmente, as parcelas experimentais, com as mesmas doses usadas inicialmente. Em novembro de 2003, aos 180 dias após a aplicação do lodo, foram coletadas novas amostras da camada superficial do solo. Este material foi seco em estufa à 40°C, destorroado e passado em peneira de malha 2 mm. Foram, então, determinadas, de acordo com o Manual de Métodos de Análises de Solos (Embrapa, 1997): a) densidade do solo (Ds), pelo método do anel volumétrico; b) densidade de partículas (Dp), obtida pelo método do balão volumétrico; c) porosidade total (VTP), obtida a partir da relação entre a Ds e a Dp segundo a equação:

$$VTP\% = \frac{(Ds - Dp)100}{Dp}$$

d) microporosidade, considerada como a água retida ao potencial de -0.0066MPa; e) macroporosidade, obtida pela diferença entre porosidade total e microporosidade; f) curva de retenção de água no solo: as amostras foram submetidas aos potenciais de -0,0066; -0.010, -0.033; -0,10; -

0,50 e -1,50 MPa, em membranas porosas na câmara de pressão de Richards.

Os dados experimentais foram analisados, estatisticamente, através dos procedimentos do Statistical Analysis System (SAS, 1999).

Resultados e discussão

Os resultados das análises químicas do lodo, apresentados na Tabela 1, indicam que se trata de um material de origem predominantemente orgânico com 20,6% de C orgânico e que, devido à sua composição (3,16% N; 0,10% K; 1,34% Ca e 0,32% Mg), pode ser caracterizado como boa fonte de nutrientes. A baixa relação C/N (6,51) demonstra que o material encontrava-se bem estabilizado. Os níveis de metais traço foram inferiores aos limites observados na literatura (Kabata-Pendias & Pendias, 1992), à exceção dos teores de Fe e de Al, 22,65 g Kg⁻¹ e 17,45 g kg⁻¹, respectivamente, que se apresentaram demasiadamente altos.

Tabela 1. Composição química parcial do lodo ETAR-APOIO.

Variável	Concentração	Variável	Concentração
Umidade (g kg ⁻¹)	135,97	Fe (g kg ⁻¹)	22,65
pH H ₂ O (1:2,5)	5,29	Al (g kg ⁻¹)	17,45
C _{org} (g kg ⁻¹)	205,75	Mn (mg kg ⁻¹)	290,00
N _{TOTAL} (g kg ⁻¹)	31,60	Cu (mg kg ⁻¹)	453,00
P (g kg ⁻¹)	0,05	Zn (mg kg ⁻¹)	1820,00
K (g kg ⁻¹)	0,84	Ni (mg kg ⁻¹)	15,00
Mg (g kg ⁻¹)	3,21	Cr (mg kg ⁻¹)	76,00
Ca (g kg ⁻¹)	13,40	Pb (mg kg ⁻¹)	206,00
Na (g kg ⁻¹)	0,83	Cd (mg kg ⁻¹)	5,00

A análise de variância mostrou diferenças não significativas para as propriedades físico-hídricas do solo (densidade, porosidade total, macroporosidade, microporosidade e retenção de umidade), em relação às doses de lodo de esgoto aplicadas nas parcelas experimentais. Nos dois períodos de amostragem, maio de 2003, antes da aplicação superficial das doses de lodo, e novembro do mesmo ano, os coeficientes de variação (CV%) encontrados foram relativamente baixos, entre 3% e 20%, considerando que o experimento foi realizado em campo, estando, portanto, sujeito às condições do meio. Nas Tabelas 2, 3 e 4, observam-se as médias das variáveis físico-hídricas do solo que forneceram informações a respeito do processo de recuperação da área. As amostras de solo foram coletadas na área útil de cada parcela e, como na implantação do processo de revegetação, as doses de lodo foram aplicadas em cova, a amostragem realizada em maio de 2003 não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos, havendo apenas a contribuição do material formador de serapilheira na cobertura da camada superficial do solo. De acordo com a amostragem realizada em novembro de 2003, após a aplicação superficial do lodo, pôde-se notar que não houve tempo hábil para a completa estabilização do substrato, o que, provavelmente, retardou o processo de mineralização da matéria orgânica, prejudicando o estabeleci-

mento de um equilíbrio com o solo. Além dos efeitos observados no período de amostragem, a camada de solo analisada (profundidade entre 0 e 20 cm) pode ter influenciado os resultados obtidos, sugerindo uma possível diluição do efeito de tratamento, já que o lodo e o material formador de serapilheira estavam concentrados na camada superficial do solo, como pode ser visto na Figura 1.



Fig. 1. Amostra da camada superficial do solo, 0 - 20 cm, coletada na Parcela 10 do Bloco 1, tratamento com 22, 8 t ha⁻¹.

Na Tabela 2, observa-se que, para a variável densidade do solo, não foram detectadas diferenças significativas entre as doses de lodo aplicadas nos dois períodos de amostragem. As médias mais baixas, obtidas no segundo período, sugerem que o lodo, de certa forma, tenha contribuído para isso. Segundo Melo & Marques (2000), a influência do lodo sobre a densidade do solo ocorre porque a matéria orgânica e os cátions presentes promovem a agregação das partículas do solo, aumentando seu volume e, conseqüentemente, diminuindo a densidade. Wisniewski *et al.* (1996), em estudos de aplicação de lodo na recuperação de uma área degradada, verificaram que para doses de 40, 80 e 120 t ha⁻¹ de lodo, em base úmida, houve tendência na redução da densidade do solo devido ao aumento da porosidade total. Os autores ressaltam ainda que, para fins de adubação, o lodo apresenta maior importância pelas matérias húmicas do que pela adição de elementos nutritivos.

Na Tabela 3, apesar das diferenças não serem significativas, observa-se uma tendência das médias de Porosidade Total e de Macroporosidade serem maiores no segundo período de amostragem em relação às do período inicial. O efeito sobre o aumento dos macroporos, caracteriza a ação da matéria orgânica sobre a estrutura do solo, promovendo maior agregação das partículas na camada superficial, o que pode ser constatado ao se examinar a densidade do solo em estudo (Tabela 2). O aporte de carga orgânica à camada superficial do solo, tanto pelo lodo quanto pela serapilheira, certamen-

Tabela 2. Médias da densidade do solo, de acordo com as doses de lodo utilizadas.

Dose Lodo t ha ⁻¹	Densidade do Solo g cm ⁻³	
	Mai 2003	Novembro 2003
0,00	1,31a	1,26a
2,85	1,32a	1,21a
5,70	1,33a	1,25a
11,40	1,34a	1,25a
22,80	1,34a	1,24a
CV %	3,80	5,09

Nota: valores seguidos da mesma letra, numa mesma coluna, não diferem significativamente pelo Teste de Tukey a P < 0,05.

te, foi o fator principal para o aumento da macroporosidade, concordando com as observações feitas por Sopper (1993), onde as propriedades físicas e hídricas do solo também são, significativamente, influenciadas pela matéria orgânica presente no lodo, com a diminuição da densidade e o aumento da porosidade total, aeração e capacidade de retenção de água, melhorando a agregação das partículas.

A microporosidade, por sua vez, apresentou valores mais baixos (cerca de 13% e 20%) no segundo período de amostragem (Tabela 3). Esta redução pode ser atribuída ao fato de a microporosidade ter sido considerada como a água retida a potencial de -0,0066 MPa, sendo evidente a influência da matéria orgânica na redução da retenção de umidade na camada superficial.

De acordo com a Tabela 4, apesar de não ter havido diferenças significativas para tratamentos, observa-se uma redução da retenção de umidade na camada superficial do solo, provavelmente devido à aplicação do lodo. Nota-se uma redução no percentual da água retida na camada superficial do solo no segundo período de amostragem, evidenciando que a taxa de infiltração e a capacidade de retenção de água do solo também podem ser influenciadas pela matéria orgânica, pois dependem do volume e da distribuição dos poros.

Tabela 3. Médias de Porosidade Total, Macroporosidade e Microporosidade nos dois períodos de amostragem.

Dose Lodo t ha ⁻¹	Porosidade Maio 2003			Porosidade Novembro 2003		
	Total	Macro	Micro	Total	Macro	Micro
0,00	50,26a	22,40a	27,86a	52,06a	30,06a	22,00a
2,85	50,00a	20,17a	29,82a	54,46a	29,29a	25,19a
5,70	49,67a	20,56a	29,11a	52,68a	27,41a	25,27a
11,40	49,45a	17,91a	31,54a	52,54a	26,19a	26,35a
22,80	49,32a	21,69a	27,64a	52,96a	30,82a	22,14a
CV %	3,91	17,70	11,37	4,61	13,19	16,90

Nota: valores seguidos da mesma letra, numa mesma coluna, não diferem significativamente pelo Teste de Tukey a P < 0,05.

Estas observações estão de acordo com o aumento da macroporosidade do solo em estudo, que apesar de não significativo, tende a favorecer a infiltração de água, diminuindo o escoamento superficial e reduzindo os riscos de erosão. Constantini *et al.* (1995) investigaram a influência da

aplicação do lodo nas propriedades hidráulicas de solos utilizados para plantações comerciais de Pinus, constatando diminuição no escoamento superficial e aumento na condutividade hidráulica dos solos.

Tabela 4. Médias da Retenção de Umidade nos dois períodos de amostragem.

Dose Lodo t ha ⁻¹	Retenção Umidade Maio 2003					Retenção Umidade Novembro 2003					Potencial Matricial (MPa)	Água retida (%)
	-0,0066	-0,010	-0,033	-0,10	-0,50	-1,50	-0,0066	-0,010	-0,033	-0,10		
0,00	27,86a	23,09a	17,34a	15,00a	12,30a	11,19a	22,00a	19,07a	15,36a	13,85a	11,04a	9,74a
2,85	29,82a	25,25a	19,44a	16,17a	13,69a	11,40a	25,19a	22,47a	17,24a	16,07a	11,90a	9,89a
5,70	29,11a	25,36a	19,26a	15,77a	12,89a	10,66a	25,27a	22,11a	16,96a	15,56a	11,61a	10,04a
11,40	31,54a	27,07a	20,85a	17,14a	13,95a	11,94a	26,35a	23,35a	18,59a	16,74a	12,81a	10,59a
22,80	27,64a	23,97a	18,34a	14,87a	12,81a	10,60a	22,14a	19,10a	15,10a	13,99a	10,91a	9,45a
CV%	11,37	12,66	15,83	15,04	17,31	17,91	16,90	16,34	17,42	16,01	18,07	19,30

Nota: valores seguidos da mesma letra, numa mesma coluna, não diferem significativamente pelo Teste de Tukey a $P < 0,05$.

Conclusões

A aplicação de lodo de esgoto não acarretou diferenças significativas nas propriedades físico-hídricas estudadas. Devido à aplicação superficial do lodo e a formação da serrapilheira sobre o subsolo revegetado, recomenda-se analisar uma camada de solo mais superficial (0 - 5 cm), onde espera-se obter, com o decorrer do tempo, alterações nas propriedades físico-hídricas do novo horizonte pedológico superficial em formação.

Referências Bibliográficas

BROFAS, G.; MICHPOULOS, P.; ALIFRAGIS, D. Sewage sludge as the amendment for calcareous bauxite mine spoils reclamation. *Journal of Environment Quality*. Madison, WI, v. 29, p. 811-816. 2000.

CONSTANTINI, A.; LOCH, R. J.; GLANVILLE, S. F.; ORANGE, D. N. Evaluation of the potential to dispose of sewage sludge. I. Soil hydraulic and overland flow properties of Pinus plantation in Queensland. *Australian Journal of Soil Research*. Collingwood, Victoria, v. 33, n. 6, p. 1041-1052. 1995.

DUDA, G. P.; CAMPELLO, E. F. C.; MENDONÇA, E. S.; LOURDES, J. L.; DOMINGOS, M. Avaliação de frações de matéria orgânica do solo para a caracterização de áreas degradadas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Viçosa, v. 23, p. 723-728. 1999.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

GONÇALVES, R. F.; LUDVICE, M. Alternativas de minimização da produção e desaguamento de lodo de esgoto. In: *IMPACTO ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto*. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p. 25-44.

JORBA, M.; ANDRÉS, P. Effects of sewage sludge on the establishment of the herbaceous ground cover after soil restoration. *Journal of soil and water conservation*. Third Quarter, Ankeny, Iowa, v. 55, n 3, p. 322-326. 2000.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soil and plants**. Boca Raton, Florida: CRC Press, 1992. 365 p.

MELO, W. J.; MARQUES, M. O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: *IMPACTO ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto*. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente. 2000. p. 109-141.

PROSAB. PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BÁSICO. **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**. Rio de Janeiro, 1999. 97 p.

SAS Institute. System for Windows, version 8. Cary, 1999. 1 CD-ROM.

SOPPER, W. E. **Municipal sludge use in land reclamation**. New York: Lewis Publishers, 1993. 163 p.

WISNIEWSKI, C.; MOTTA NETO, J. A.; PEREIRA A. M.; RADOMSKI, M. I.; SESSEGOLO, G. C. Uso do lodo de esgoto da ETE-Belém na recuperação de áreas degradadas por mineração de calcário. *Sanare*, Curitiba. v.5, n.5, p. 76-85, jan/abr. 1996.

Comunicado Técnico, 26

Ministério da Agricultura
Pesquisa e Desenvolvimento



Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:
Embrapa Solos
Endereço: Rua Jardim Botânico, 1024 Jardim Botânico, Rio de Janeiro, RJ. CEP: 22460-000.
Fone: (21) 2274-4999
Fax: (21) 2274-5291
E-mail: sac@cnps.embrapa.br
<http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/conhecimentos.html>

1ª edição
1ª impressão (2004): 200 exemplares

Expediente

Supervisor editorial: Jacqueline S. Rezende Mattos
Revisão de texto: André Luiz da Silva Lopes
Normalização bibliográfica: Cláudia Regina Delaia
Editoração eletrônica: Pedro Coelho Mendes Jardim