



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbccs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Brasil

Batista Ricci, Alexandro; Ramalho Padovani, Vera Cristina; Rodrigues de Paula Júnior, Durval
USO DE LODO DE ESGOTO ESTABILIZADO EM UM SOLO DECAPITADO. II - ATRIBUTOS
QUÍMICOS E REVEGETAÇÃO

Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 34, núm. 2, 2010, pp. 543-551

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180214231027>

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

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

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

USO DE LODO DE ESGOTO ESTABILIZADO EM UM SOLO DECAPITADO. II - ATRIBUTOS QUÍMICOS E REVEGETAÇÃO⁽¹⁾

**Alexandro Batista Ricci⁽²⁾, Vera Cristina Ramalho Padovani⁽³⁾ & Durval
Rodrigues de Paula Júnior⁽⁴⁾**

RESUMO

A disposição do lodo de esgoto e de outros resíduos orgânicos no solo apresenta-se como alternativa ao setor público, pois poderá fornecer nutrientes para o estabelecimento e manutenção de espécies vegetais que compõem os sistemas de áreas verdes das cidades. Com o objetivo de avaliar o uso de doses (0, 20, 40 e 80 Mg ha⁻¹) de um composto orgânico de lodo de esgoto e resíduos de roçagem na recuperação de um solo decapitado, pelo efeito nos atributos químicos do solo e revegetação com espécies nativas, foi realizado um experimento em Mogi-Guaçu - SP, onde se observou que a dose de 80 Mg ha⁻¹ do composto de lodo de esgoto promoveu aumento do teor de P, Ca, Mg, K, Mn e Fe e do pH do solo, alterando positivamente sua fertilidade, e que o teor de C orgânico do solo não sofreu modificações. O índice de cobertura do solo pelas copas das árvores não teve influência das dosagens crescentes de composto de lodo de esgoto no solo decapitado.

**Termos de indexação: resíduos sólidos, composto, solo degradado e
reflorestamento.**

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor apresentada à Faculdade de Engenharia Agrícola – FEAGRI/UNICAMP. Recebido para publicação em março de 2009 e aprovado em janeiro de 2010.

⁽²⁾ Engenheiro-Agrônomo, Prefeitura Municipal de Mogi-Guaçu - SP. Av. Mogi Mirim 93, CEP 13844-110 Mogi-Guaçu (SP). E-mail: alebatric@ig.com.br

⁽³⁾ Doutoranda, Faculdade de Engenharia Agrícola – FEAGRI/UNICAMP. Cidade Universitária Zeferino Vaz, Av. Cândido Rondon 501, Barão Geraldo, CEP 13083-875 Campinas (SP). E-mail: verapadovani@ig.com.br

⁽⁴⁾ Professor Associado, Agricultura e Ambiente, FEAGRI/UNICAMP. E-mail: durval@agr.unicamp.br

SUMMARY: USE OF STABILIZED SEWAGE SLUDGE ON A HUMUSLESS SOIL. II - CHEMICAL PROPERTIES AND REVEGETATION

The disposal of sewage sludge and other organic waste on the soil seems be an alternative for the public sector since this can provide nutrients for the growth and maintenance of plant species that constitute the urban systems of green areas. This experiment was conducted in Mogi Guaçu, State of São Paulo to evaluate the effect of doses (0, 20, 40 and 80 Mg ha⁻¹) of an organic sewage sludge compost and grass residue on the recovery of a humusless soil, particularly on the soil chemical properties and revegetation with native species. At a dose of 80 Mg ha⁻¹ sewage sludge compost an increase was observed in the level of P, Ca, Mg, K, Mg, Fe, and soil pH, with positive influence on fertility and unaltered soil organic C content. The index of soil cover by tree canopies was not influenced by increasing doses of sewage sludge compost on humusless soil.

Index terms: Solid waste, compost, degraded soil, reforestation.

INTRODUÇÃO

O gerenciamento dos resíduos sólidos é um dos maiores desafios dos municípios brasileiros, os quais enfrentam problemas relacionados à questão ambiental, aliados às dificuldades financeiras do País. A disposição do lodo de esgoto e outros resíduos orgânicos no solo apresenta-se como alternativa ao setor público, pois poderá fornecer nutrientes para o estabelecimento e manutenção de espécies vegetais que compõem os sistemas de áreas verdes das cidades. Segundo Quintana (2006), a substituição da adubação mineral pelo lodo de esgoto pode contribuir para o melhor crescimento e desenvolvimento das plantas, devido à melhoria das características físicas e químicas do solo, e para o aumento da rentabilidade econômica, usando-se a dose ótima.

Principalmente nos solos tropicais, caracterizados por um estádio avançado de evolução, que apresentam um complexo adsorvente formado por argilas de baixa atividade (argilas 1:1 e gibbsita), pobres em matéria orgânica com baixa capacidade de troca catiônica (CTC), a adição de lodo de esgoto terá um efeito altamente positivo em sua fertilidade, pois praticamente toda a CTC encontra-se relacionada à matéria orgânica; assim, o aumento dos teores de matéria orgânica no solo provoca aumento na CTC (Melo et al., 1994).

Este trabalho objetivou avaliar o potencial de dosagens de um composto orgânico de lodo de esgoto e resíduos de roçagem na recuperação de um solo decapitado, por meio efeito nos atributos químicos e revegetação com espécies nativas.

MATERIAL E MÉTODOS

Foi realizada a aplicação de um composto orgânico em um solo decapitado, pertencente a uma área verde

do município de Mogi-Guaçu - SP, da qual foi retirada uma camada superficial de 2 m de espessura para utilização em serviços de terraplenagem do local. O solo original é um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico textura argilosa leve, com relevo plano e declividade menor que 3%; a vegetação original é a floresta estacional semideciduval.

O composto orgânico foi obtido utilizando o processo de leiras revolvidas, de dois resíduos gerados no município de Mogi-Guaçu: lodo de esgoto obtido em sistema de lodos ativados por batelada (LAB) com aeração prolongada; e resíduos de roçagens de gramíneas (grama-batatais e *Brachiaria* ssp.) de parques, praças, canteiros centrais de avenidas e jardins públicos. O composto atendeu às exigências químicas da legislação em vigor (Ricci et al., 2010).

Foram propostos quatro tratamentos com diferentes dosagens de aplicação de composto no solo, sendo T0 de 0 Mg ha⁻¹, T1 de 20 Mg ha⁻¹, T2 de 40 Mg ha⁻¹ e T3 de 80 Mg ha⁻¹, seguidos pelo plantio de árvores nativas, com quatro repetições por tratamento, totalizando 16 parcelas. O material foi aplicado manualmente nas parcelas, antes do plantio das mudas, em três aplicações iguais e intervaladas de um mês cada uma, seguidas de incorporação mecanizada, por meio de um gradeamento a 0,20 m de profundidade. O terreno foi subsolado antes da incorporação, e as parcelas foram demarcadas com a dimensão de 10 x 10 m. Não foram realizadas reaplicações do composto de lodo de esgoto após o plantio. Posteriormente, foi realizada a abertura das covas e o plantio das árvores nativas nas parcelas, conforme o método proposto de Macedo (1993). O espaçamento foi de 2 m entre linhas e 2 m entre plantas, obtendo-se uma densidade populacional de 2.500 árvores ha⁻¹ e 25 por parcela. Nesse método, uma linha de espécies pioneiras (P) alterna-se com uma linha de espécies não pioneiras (NP), trabalhando-se com 20 espécies diferentes no total (Ricci et al., 2010).

Para as amostras destinadas às análises químicas, foram realizadas coletas de 0–0,20 e 0,20–0,40 m de profundidade. As amostragens foram realizadas antes da implantação do experimento, antes do plantio, um ano após o plantio das mudas e no final de dois anos do plantio. Foram realizadas as seguintes avaliações químicas: P-resina (mg dm⁻³), C orgânico (g dm⁻³), índice de acidez (pH CaCl₂), K, Ca, Mg, acidez potencial (H + Al), soma de bases, capacidade de troca catiônica e saturação por bases e micronutrientes disponíveis. As análises foram feitas no Laboratório de Qualidade do Solo do IAC, segundo método de Rajj & Quaggio (1983).

Foram avaliados o maior e o menor diâmetro da copa das árvores, utilizando-se trena para determinar o índice de cobertura das copas (ICC), que é a relação entre a área foliar total e a área de solo disponível para as plantas, é apropriado quando se estudam comunidades vegetais e demonstra a capacidade de sombreamento das espécies utilizadas, capacidade esta essencial para modelos sucessionais de repovoamentos florestais, segundo Benincasa (1988). As determinações nas árvores foram realizadas no primeiro e segundo anos pós-plantio.

O delineamento estatístico utilizado foi o de parcelas subdivididas e blocos ao acaso, com quatro tratamentos e quatro repetições, totalizando 16 parcelas. Utilizou-se o software SISVAR para processamento

dos dados. O teste F foi aplicado. Quando constatada interação significativa, as médias foram testadas dentro de doses, por modelos de regressão polinomial de primeiro, segundo ou terceiro grau e dentro de períodos, pelo teste de Tukey a $p = 0,05$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de C orgânico do solo nas camadas analisadas não apresentaram diferenças estatísticas significativas com o aumento das doses de aplicação do composto de lodo de esgoto (Quadro 1). Resultados similares foram obtidos por Gonçalves et al. (2000), que, conduzindo experimentos com aplicações de lodo de esgoto no solo, verificaram que não houve alteração do teor de C deste.

Os resultados observados no comportamento do teor de C orgânico no solo que recebeu as diferentes dosagens de composto de lodo de esgoto indicam que a degradação da matéria orgânica estabilizada nas condições experimentais foi bastante intensa. Os teores de C orgânico foram reduzidos significativamente ao longo do período estudado, nas duas camadas do solo, independentemente das dosagens de composto de lodo de esgoto. O aporte inicial de C orgânico promovido, provavelmente, pela incorporação de materiais

Quadro 1. Teor de carbono orgânico, pH CaCl₂ e teor de P do solo nas profundidades de 0–0,20 e 0,20–0,40 m de um Latossolo Vermelho-Amarelo decapitado, após aplicação de diferentes doses de composto de lodo de esgoto em três épocas distintas após revegetação

Dose de aplicação do lodo	C org			pH CaCl ₂			P		
	0 ano	1 ano	2 ano	0 ano	1 ano	2 ano	0 ano	1 ano	2 ano
Mg ha ⁻¹									
	g dm ⁻³			0–0,20 m			mg dm ⁻³		
0	8,3	8,3	6,3	4,8	4,4	4,4	1,3a	1,8a	2,3a
20	9,2	8,3	6,8	4,8	4,4	4,5	3,8a	2,3a	2,0a
40	9,5	9,2	7,4	4,9	4,5	4,6	4,5a	2,3a	2,8a
80	10,9	9,3	8,1	5,0	4,5	4,7	9,8a	3,3b	3,3b
Médias	9,5A	8,8B	7,1C	4,9A	4,4C	4,5	4,8	2,4	2,6
	Prob F			CV			Prob F		
Dose	NS			20,17			*		
Período	*			8,24			3,53		
Dose x período	NS			---			1,30		
0,20–0,40 m									
	g dm ⁻³			mg dm ⁻³			Prob F		
0	7,5	7,1	5,4	4,8	4,4	4,5	1,5	1,5	2,0
20	7,8	7,4	5,8	4,8	4,4	4,5	2,8	1,2	2,0
40	7,7	7,7	5,7	4,8	4,5	4,6	3,8	2,5	2,5
80	8,9	7,5	6,0	4,9	4,5	4,6	4,0	1,7	1,0
Médias	8,0A	7,4B	5,7C	4,8A	4,4C	4,5B	3,0A	1,7A	1,9A
	Prob F			CV			Prob F		
Dose	NS			11,53			NS		
Período	**			5,95			2,01		
Dose x período	NS			---			1,50		
	Prob F			CV			Prob F		
Dose	NS			---			NS		
Período	NS			---			NS		
Dose x período	NS			---			NS		

Médias seguidas da mesma letra não diferem a 5 % pelo teste de Tukey; letras maiúsculas compararam médias totais de períodos. (NS: não significativo; * e **: significativos a 5 e 1 %, respectivamente).

orgânicos da superfície no momento do preparo do solo diminuiu significativa e gradualmente ao longo do tempo no experimento. Esses resultados também estão relacionados com as altas taxas de oxidação da matéria orgânica nos solos tropicais e subtropicais (Kiehl, 1985).

O pH do solo, em razão das diferentes quantidades de composto de lodo de esgoto aplicadas, mostrou diferenças significativas (Figura 1).

Outros autores também descreveram comportamentos similares do pH do solo diante de aplicações de lodo de esgoto, como Soares (2003) e Rezende (2005).

Os maiores valores de pH, independentemente das dosagens de composto de lodo de esgoto, foram obtidos logo após a aplicação e plantio das árvores; após um ano, eles decaíram significativamente, aumentando no segundo ano, porém foram menores que os observados no início (Quadro 1). Os resultados indicaram que a adição do composto de lodo de esgoto promoveu aumento no pH do solo, devido principalmente a reações alcalinas do N, e que este diminui ao longo do tempo, devido à acidificação natural desse solo.

Os teores de P do solo na camada de 0–0,20 m aumentaram significativamente com o acréscimo das dosagens do composto de lodo de esgoto, logo após a aplicação e plantio, onde a dose de 80 mg ha⁻¹ aumentou o teor de P em quase oito vezes em relação ao valor observado na ausência da aplicação do composto de lodo de esgoto (Figura 2), alterando a classificação de “muito baixo” para “alto”, segundo Raij et al. (1986), pelo sistema de classificação do Instituto Agronômico de Campinas – IAC para espécies florestais no Estado de São Paulo. O teor de P na parcela que recebeu 80 mg ha⁻¹ de composto de lodo de esgoto até dois anos depois diminuiu significativamente na camada de 0–0,20 m (Quadro 1), devido principalmente ao fenômeno de fixação, comum em solos ácidos tropicais, e à absorção pelas árvores.

As demais dosagens não apresentaram variações significativas durante o período de observação, porém, na parcela que não recebeu o composto, observa-se

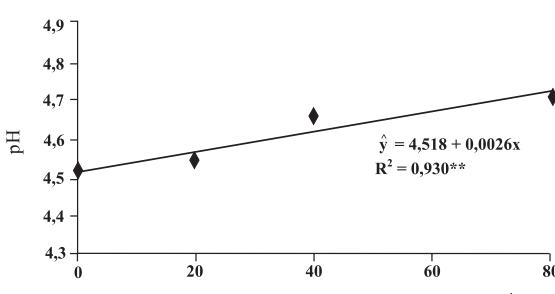


Figura 1. pH do solo na camada de 0–0,20 m, após a aplicação de diferentes doses de composto de lodo de esgoto (**: significativo a 1%).

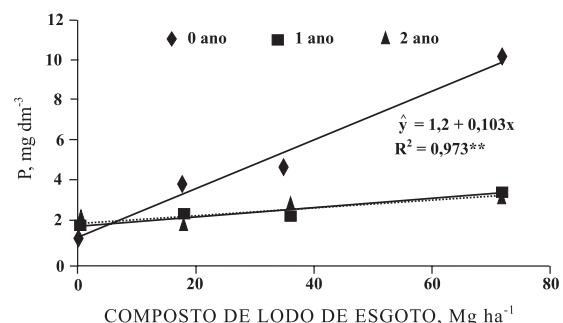


Figura 2. Teor médio de P do solo, na camada de 0–0,20 m, após aplicação de diferentes doses de composto de lodo de esgoto, em função das épocas de amostragem (**: significativo a 1%; ns: não significativo).

tendência de aumento no teor de P ao longo do tempo estudado – esse fato pode ser explicado pela reciclagem dos nutrientes promovida pela deposição das folhas no solo.

Na camada de 0,20–0,40 m observa-se a mesma tendência da camada anterior, porém sem diferenças estatísticas significativas entre as dosagens e os períodos estudados (Quadro 2). Os resultados encontrados estão de acordo com os de Galdos & Camargo (2004) e Vieira et al. (2005).

Na camada de 0–0,20 m, a soma de bases (SB) aumentou significativamente nos solos das parcelas que receberam dosagens do composto de lodo de esgoto (Quadro 3), sendo superior ao valor observado na testemunha nos três períodos estudados. O aumento nos valores das somas de bases nos solos das parcelas foi devido principalmente aos teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ (Quadro 2), que aumentaram proporcionalmente com as dosagens do composto de lodo de esgoto. O aumento no teor de bases do solo com a aplicação de lodo é relatado por Nascimento et al. (2004).

A adição de composto de lodo de esgoto proporcionou diferença significativa no teor de K do solo da parcela que recebeu a maior dose (Figura 3). O aumento do teor de K do solo em função das aplicações de composto de lodo de esgoto deve-se, provavelmente, ao fato de na compostagem ser utilizado resíduo de roçagens de gramíneas como material estruturante, mais rico em K que o lodo de esgoto.

Os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ também foram influenciados significativamente pelas dosagens de composto de lodo de esgoto (Figura 4). Na camada de 0,20–0,40 m, não houve diferenças significativas para os valores de SB, indicando baixa lixiviação das bases provenientes da primeira camada (Quadro 3). Observou-se apenas que, após a aplicação do composto de lodo de esgoto e o plantio das árvores, o teor de Ca²⁺ do solo subsuperficial foi maior que nos dois anos seguintes, independentemente das dosagens testadas.

Quadro 2. Teor de K, Ca e Mg trocáveis do solo nas profundidades de 0–0,20 e 0,20–0,40 m, de um Latossolo Vermelho-Amarelo decapitado, após aplicação de diferentes doses de composto de lodo de esgoto em três épocas distintas

Dose de aplicação do lodo	K ⁺			Ca ²⁺			Mg ²⁺		
	0 ano	1 ano	2 ano	0 ano	1 ano	2 ano	0 ano	1 ano	2 ano
Mg ha ⁻¹	mmol _c dm ⁻³								
0	0,3a	0,3a	0,4a	3,0	2,5	2,0	1,0	1,0	1,0
20	0,3a	0,4a	0,4a	4,0	3,3	3,0	1,0	1,0	1,0
40	0,6a	0,3a	0,4a	4,5	5,0	5,0	1,5	1,0	1,8
80	0,7a	0,3a	0,4a	7,0	5,3	7,5	2,3	1,0	1,8
Médias	0,5A	0,3A	0,4A	4,6A	4,0A	4,4A	1,4A	1,0B	1,4AB
Dose		Prob F	CV		Prob F	CV		Prob F	CV
Período		NS	45,78		**	12,95		**	21,43
Dose x período		*	---		NS	25,51		*	33,78
	0,20–0,40 m								
0	0,2	0,2	0,3	3,0	2,8	2,0	1,0	0,9	1,0
20	0,3	0,2	0,2	3,0	2,5	1,8	1,0	0,9	0,9
40	0,2	0,2	0,3	3,3	3,0	2,5	1,0	1,0	1,0
80	0,4	0,2	0,3	4,8	2,8	2,3	1,3	1,0	1,0
Médias	0,3A	0,2A	0,3A	3,5A	2,8B	2,2B	1,0A	0,9A	1,0A
Dose		Prob F	CV		Prob F	CV		Prob F	CV
Período		NS	27,31		NS	36,64		NS	14,88
Dose x período		NS	36,81		**	27,52		NS	15,47

Médias seguidas da mesma letra não diferem a 5 % pelo teste de Tukey; letras maiúsculas comparam médias totais de períodos. (NS: não significativo; * e **, significativos a 5 e 1 %, respectivamente).

Observações diferentes são descritas na literatura por Soares (2003) e Paglia et al. (2007).

A acidez potencial do solo nas duas camadas das parcelas experimentais não sofreu alteração significativa em função das diferentes dosagens de composto de lodo de esgoto aplicadas (Quadro 3). Somente dois anos após a aplicação e plantio é que os valores diminuíram para todos os tratamentos nas

duas camadas, inclusive a testemunha. Os valores da CTC do solo das parcelas não apresentaram diferenças significativas para as distintas dosagens de composto de lodo de esgoto (Quadro 3). No entanto, pode-se observar, nas médias, o mesmo padrão numérico observado com a SB, em que os maiores valores indicaram as maiores dosagens. A CTC do solo, independentemente do tratamento, diminuiu ao longo dos períodos analisados. Nas duas camadas estudadas, os menores valores foram observados dois anos após a aplicação do composto e o plantio das árvores (Quadro 3), indicando, com isso, que parte das cargas negativas dos coloides do solo foi proveniente da matéria orgânica, e a CTC também diminuiu com sua degradação natural.

Em função dos valores da SB e CTC, a saturação por bases (V) do solo das parcelas também aumentou com as dosagens do composto de lodo de esgoto (Quadro 3 e Figura 4); as três dosagens testadas promoveram aumentos significativos de V, em comparação com a testemunha, na camada de 0–0,20 m.

Os teores de Fe do solo também sofreram efeitos significativos com as aplicações de composto de lodo de esgoto nas camadas de 0–0,20 m e 0,20–0,40 m (Figuras 7 e 8). Em ambas as camadas, as médias dos períodos mostraram redução significativa no teor

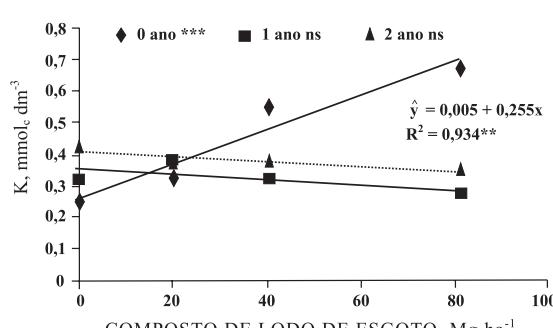


Figura 3. Teor de K do solo na camada de 0–0,20 m, após aplicação de diferentes doses de composto de lodo de esgoto, em função da época de amostragem (: significativo a 1%; ns: não significativo).**

Quadro 3. Acidez potencial (H + Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V) de um Latossolo Vermelho-Amarelo decapitado, em duas profundidades, após aplicação de diferentes doses de composto de lodo de esgoto em três épocas distintas, após revegetação

Dose de aplicação do lodo	H + Al			SB			CTC			V		
	0 ano	1 ano	2 ano	0 ano	1 ano	2 ano	0 ano	1 ano	2 ano	0 ano	1 ano	2 ano
Mg ha ⁻¹	mmol _c dm ⁻³											
0	30	30	27	4,3	3,3	2,9	33,7	33,6	30,1	13	10	10
20	30	29	26	5,3	4,6	4,4	33,6	33,5	30,3	15	14	15
40	30	28	26	6,6	6,3	7,1	36,7	34,3	32,9	18	19	22
80	30	27	26	9,9	6,5	9,6	39,3	33,7	35,4	25	20	27
Médias	30A	29A	26B	6,5A	5,2A	6,0A	36,3A	33,7B	32,2B	18A	16A	18A
Dose	Prob	F	CV	Prob	F	CV	Prob	F	CV	Prob	F	CV
Período	NS		17,18	**		15,15	NS		15,51	**		12,34
Dose x período	**		6,43	NS		27,03	*		7,13	NS		20,37
	NS	---		NS	---		NS	---		NS	---	
	0–0,20 m											
0	29	26	23	3,9	3,5	2,8	32,5	29,2	26,1	12	12	11
20	30	28	24	4,0	2,9	2,2	33,5	31,1	26,1	12	10	9
40	9	27	23	4,5	3,9	3,5	33,2	30,5	26,1	14	13	14
80	28	27	24	6,4	3,5	3,0	34,2	29,9	26,9	19	12	11
Médias	29A	27A	22B	4,7A	3,5B	2,9B	33,4A	30,1B	26,3C	14A	12A	11A
Dose	Prob	F	CV	Prob	F	CV	Prob	F	CV	Prob	F	CV
Período	NS		16,05	NS		37,13	NS		8,93	NS		43,85
Dose x período	**		11,28	**		31,11	**		7,43	NS		29,55
	NS	---		NS	---		NS	---		NS	---	
	0,20–0,40 m											
0	29	26	23	3,9	3,5	2,8	32,5	29,2	26,1	12	12	11
20	30	28	24	4,0	2,9	2,2	33,5	31,1	26,1	12	10	9
40	9	27	23	4,5	3,9	3,5	33,2	30,5	26,1	14	13	14
80	28	27	24	6,4	3,5	3,0	34,2	29,9	26,9	19	12	11
Médias	29A	27A	22B	4,7A	3,5B	2,9B	33,4A	30,1B	26,3C	14A	12A	11A
Dose	Prob	F	CV	Prob	F	CV	Prob	F	CV	Prob	F	CV
Período	NS		16,05	NS		37,13	NS		8,93	NS		43,85
Dose x período	**		11,28	**		31,11	**		7,43	NS		29,55
	NS	---		NS	---		NS	---		NS	---	

Médias seguidas da mesma letra não diferem a 5 % pelo teste de Tukey; letras maiúsculas comparam médias totais de períodos. (NS: não significativo; * e **, significativos a 5 e 1 %, respectivamente).

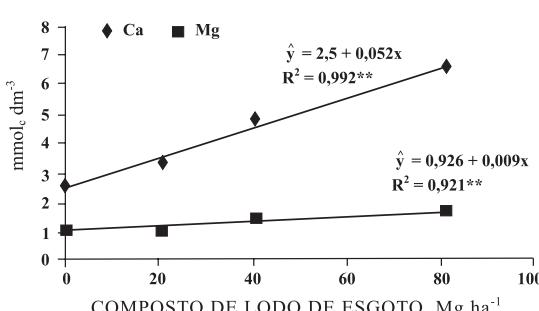


Figura 4. Teor de Ca²⁺ e Mg²⁺ do solo na camada de 0–0,20 m, após aplicação de diferentes doses de composto de lodo de esgoto (: significativo a 1 %).**

de Fe ao longo dos dois anos após a aplicação (Quadro 5). Essa redução deve-se provavelmente à complexação do Fe no solo, assumindo formas não disponíveis para as plantas.

Observa-se que os teores de Mn (Figura 8) na camada de 0–0,20 m aumentaram significativamente com as dosagens de composto de lodo de esgoto logo após a aplicação ($R^2=0,987$) e dois anos depois ($R^2=0,960$).

As concentrações de Cu e Zn no solo não mostraram diferenças significativas em função das dosagens de composto de lodo de esgoto nas duas camadas do solo (Quadro 4). No entanto, com relação aos períodos estudados, o teor de Cu, na camada de 0–0,20 m, aumentou significativamente após dois anos nas parcelas que receberam a dosagem máxima de composto de lodo de esgoto, não apresentando alterações na camada de 0,20–0,40 m para as dosagens testadas. O teor de Zn, independentemente da dosagem, apresentou maior acúmulo logo após a aplicação, reduzindo seu teor um ano depois, nas duas camadas analisadas. Na camada de 0–0,20 m, dois anos após a aplicação, o teor de Zn aumentou devido, provavelmente, ao aporte de material orgânico na superfície pela deposição de folhas.

Aumentos nos teores de Cu e Zn em solos que receberam lodo de esgoto alcalinizado foram apontados por Silva et al. (2001) e Chiba et al. (2008).

Os teores de B aumentaram significativamente durante o período de estudo, independentemente das dosagens (Quadro 5), apresentando os maiores valores no segundo ano, nas duas camadas amostradas, indicando que houve liberação do micronutriente por meio da mineralização da matéria orgânica.

Quadro 4. Teores de B, Cu, Mn, Fe e Zn nas profundidades de 0–0,20 e 0,20–0,40 m de um Latossolo Vermelho-Amarelo decapitado, após aplicação de diferentes doses de composto de lodo de esgoto em três épocas distintas, após revegetação

Dose de aplicação	B			Cu			Mn			Fe			Zn		
	0 ano	1 ano	2 ano	0 ano	1 ano	2 ano	0 ano	1 ano	2 ano	0 ano	1 ano	2 ano	0 ano	1 ano	2 ano
Mg ha ⁻¹	mg dm ⁻³														
0	1,04	1,32	1,87	0,3a	0,3a	0,3a	1,6a	0,8b	1,1ab	12,8a	7,3ab	5,3b	1,3	0,8	1,0
20	1,07	1,15	1,51	0,4a	0,4a	0,4a	1,9a	1,0b	1,4ab	22,5a	11,5b	10,0b	1,2	0,6	0,9
40	1,10	1,18	1,58	0,4a	0,4a	0,5a	2,2a	1,2b	1,7ab	26,0a	16,5b	14,8b	1,3	1,0	1,4
80	1,03	1,26	1,54	0,6b	0,4c	0,7a	3,0a	1,2c	2,0b	40,5a	15,3c	22,8b	2,0	1,0	1,9
Médias	1,06B	1,27B	1,62A	0,43	0,37	0,47	2,2	1,1	1,6	25,4	12,6	13,2	1,4A	0,8B	1,3A
Dose	Prob F			CV			Prob F			Prob F			Prob F		
Período	NS			NS			**			19,50			**		
Dose x período	**			15,62			**			19,33			**		
NS	---			---			*			---			**		
Mg ha ⁻¹	0–0,20 m														
0	0,67	0,88	1,15	0,3	0,2	0,3	1,3	0,7	0,9	11,0	4,3	4,0	0,6	0,2	0,3
20	0,56	1,03	1,22	0,3	0,2	0,3	1,5	0,7	0,8	13,5	6,0	5,3	0,7	0,2	0,3
40	0,53	0,89	1,16	0,3	0,2	0,3	1,5	0,7	0,8	13,3	6,0	5,3	0,6	0,3	0,4
80	0,59	0,95	1,20	0,4	0,2	0,3	1,7	0,7	0,7	18,8	6,8	7,5	0,8	0,2	0,4
Médias	0,59C	0,94B	1,18A	0,3A	0,2B	0,3A	1,5A	0,7B	0,8B	14,1A	5,8B	5,5B	0,7A	0,2B	0,3B
Dose	Prob F			CV			Prob F			Prob F			Prob F		
Período	NS			28,39			NS			23,07			**		
Dose x período	**			21,65			**			24,77			**		
NS	---			---			NS			---			NS		
Mg ha ⁻¹	0,20–0,40 m														
0	0,67	0,88	1,15	0,3	0,2	0,3	1,3	0,7	0,9	11,0	4,3	4,0	0,6	0,2	0,3
20	0,56	1,03	1,22	0,3	0,2	0,3	1,5	0,7	0,8	13,5	6,0	5,3	0,7	0,2	0,3
40	0,53	0,89	1,16	0,3	0,2	0,3	1,5	0,7	0,8	13,3	6,0	5,3	0,6	0,3	0,4
80	0,59	0,95	1,20	0,4	0,2	0,3	1,7	0,7	0,7	18,8	6,8	7,5	0,8	0,2	0,4
Médias	0,59C	0,94B	1,18A	0,3A	0,2B	0,3A	1,5A	0,7B	0,8B	14,1A	5,8B	5,5B	0,7A	0,2B	0,3B
Dose	Prob F			CV			Prob F			Prob F			Prob F		
Período	NS			28,39			NS			23,07			**		
Dose x período	NS			---			NS			---			NS		

Médias seguidas da mesma letra não diferem a 5 % pelo teste de Tukey; letras maiúsculas comparam médias totais de períodos. (NS: não significativo; * e **, significativos a 5 e 1 %, respectivamente).

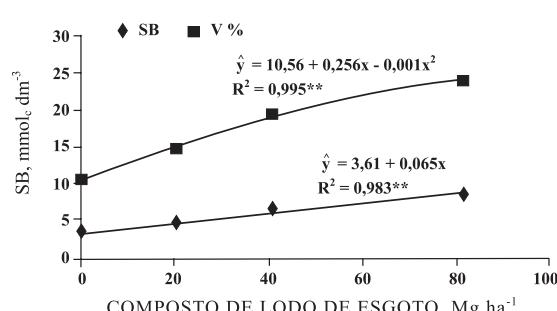


Figura 5. Soma de bases (SB) e índice de saturação por bases (V %) do solo que recebeu diferentes doses de composto de lodo de esgoto na camada de 0–0,20 m (**: significativo a 1 %).

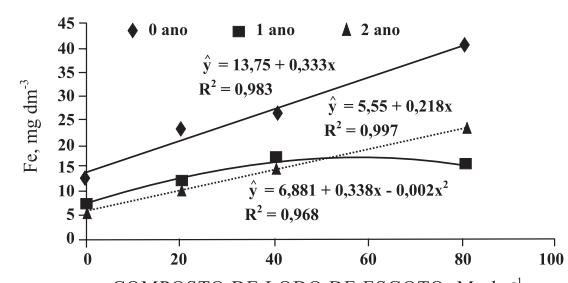


Figura 6. Teor de Fe disponível do solo na camada de 0–0,20 m, após a aplicação das diferentes doses de composto de lodo de esgoto, nos três períodos de amostragem (**: significativo a 1 %).

As espécies pioneiras e não pioneiras não apresentaram resposta significativa no ICC para as diferentes dosagens de composto de lodo de esgoto, demonstrando que as espécies utilizadas não responderam ao aumento da fertilidade do solo proporcionado pela adição de composto de lodo de esgoto no solo. Contudo, independentemente da espécie e dosagem, elas apresentaram o ICC significativamente diferente entre os períodos estudados (Quadro 6).

indicando que as árvores cresceram no local do experimento.

A baixa resposta de espécies florestais à fertilização do solo foi observada por Pouyu-Rojas & Siqueira (2000), que, estudando o comportamento de sete espécies florestais diante da adubação química e inoculação de micorrizas, concluíram que a fertilização não alterou o crescimento das espécies estudadas, ao contrário da micorrizacção.

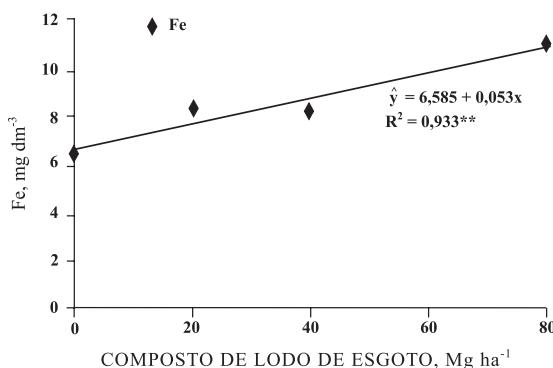


Figura 7. Teor de Fe disponível do solo, na camada de 0,20–0,40 m, após a aplicação das diferentes doses de composto de lodo de esgoto, nos três períodos de amostragem (**: significativo a 1%).

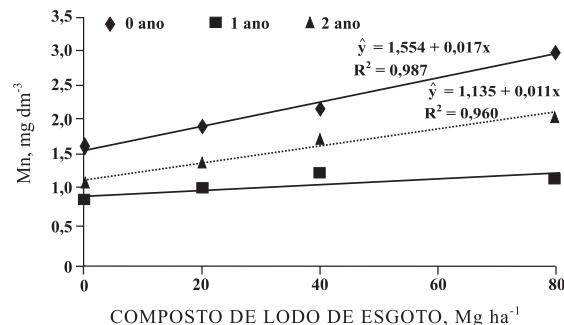


Figura 8. Teor de Mn disponível do solo na camada de 0–0,20 m, após a aplicação das diferentes doses de composto de lodo de esgoto, nos três períodos de amostragem (**: significativo a 1%; ns: não significativo).

Quadro 5. Índice de cobertura da copa (ICC) das árvores pioneiras e não pioneiras implantadas em solo sob diferentes doses de composto de lodo de esgoto, mensuradas em três períodos distintos

Dose de aplicação do lodo	ICC					
	Pioneiras			Não pioneiras		
	0 ano	1 ano	2 ano	0 ano	1 ano	2 ano
Mg ha⁻¹						
0	0,03	0,16	0,47	0,02	0,07	0,09
20	0,02	0,30	0,76	0,02	0,08	0,15
40	0,01	0,22	0,51	0,02	0,05	0,07
80	0,02	0,26	0,75	0,02	0,07	0,11
Médias	0,02C	0,23B	0,62A	0,02C	0,07B	0,10
Dose			Prob F	CV		Prob F
Período			NS	64,31		NS
Dose x período			**	53,56		**
			NS	---		57,86
						NS

Médias seguidas da mesma letra não diferem a 5 % pelo teste de Tukey; letras maiúsculas compararam médias totais de períodos. (NS: não significativo; * e **, significativos a 5 e 1 %, respectivamente).

A necessidade nutricional das espécies arbóreas brasileiras ainda é muito pouco conhecida. Há espécies que ocorrem somente em solos ácidos, outras que são restritas aos solos calcários e outras indiferentes quanto à fertilidade do solo, segundo Ratter et al. (1978) citado por Haridasan (2000).

CONCLUSÕES

1. A dose de 80 mg ha⁻¹ do composto de lodo de esgoto promoveu aumento dos teores de P, Ca, Mg, K, Mn e Fe e do pH do solo, alterando positivamente sua fertilidade.

2. As dosagens de lodo de esgoto compostado não modificaram os teores de C orgânico do solo estudado.

3. O índice de cobertura pelas copas da composição do reflorestamento escolhido não sofre influência das dosagens crescentes de composto de lodo de esgoto no solo decapitado; os grupos sucessionais estudados (pioneeras e não pioneeras) mostraram comportamentos semelhantes.

4. O uso de composto de lodo de esgoto é uma alternativa para o município de Mogi-Guaçu no que se refere à sua disposição e recuperação de áreas degradadas.

LITERATURA CITADA

- BENINCASA, M.M.P. Análise de crescimento de plantas: noções básicas. Jaboticabal, FUNEP, 1988. 42p.
- CHIBA, M.K.; MATTIAZZO, M.E. & OLIVEIRA, F.C. Cultivo de cana-de-açúcar em Argissolo tratado com lodo de esgoto. II - Disponibilidade de nitrogênio e componentes de produção. R. Bras. Ci. Solo, 32:653-662, 2008.

- GALDOS, M.V. & CAMARGO, I.C. Atributos químicos e produção de milho em um Latossolo Vermelho eutroférrico tratado com lodo de esgoto. *R. Bras. Ci. do Solo*, 28:569-577, 2004.
- GONÇALVES, J.L.; VAZ, L.M.; AMARAL, T.M. & POGGIANI, F. Aplicabilidade de biossólido em plantações florestais II: 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. 312p.
- HARIDASAN, M. Nutrição mineral de plantas nativas do cerrado. *R. Bras. Fisiol.*, 12:54-64, 2000.
- KIEHL, E.J. Fertilizantes orgânicos. Piracicaba, Agronômica Ceres, 1985. 468p.
- MACEDO, A.C.; KAGEYAMA, P.Y. & COSTA, L.G.S. Revegetação: Matas ciliares e de proteção ambiental. São Paulo, Fundação Florestal, SMA, 1993. 26p.
- MELO, W.J.; MARQUES, M.O.; SANTIAGO, G.; CHELLI, R.A. & LEITE, S.A.S. Efeito de doses crescentes de lodo de esgoto sobre as frações da matéria orgânica e CTC de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar. *R. Bras. Ci. Solo*, 18:449-455, 1994.
- NASCIMENTO, C.W.; BARROS, D.A. & OLIVEIRA, E.E. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:385-392, 2004.
- PAGLIA, E.C.; SERRAT, B.M.; FREIRE, C.A. & BORSATTO, A.M. Doses de potássio na lixiviação do solo com lodo de esgoto. *R. Bras. Eng. Agric. Amb.*, 11:94-100, 2007.
- POUYU-ROJAS, E. & SIQUEIRA, J.O. Micorriza arbuscular e fertilização do solo no desenvolvimento pós-transplante de mudas de sete espécies florestais. *Pesq. Agropec. Bras.*, 35:103-114, 2000.
- QUINTANA, N.R. Análise econômica da aplicação de biossólido na agricultura. Botucatu, Universidade Estadual de São Paulo, 2006. 133p. (Tese de Mestrado)
- RAIJ, B.van. & QUAGGIO, J.A. Métodos de análises de solo para fins de fertilidade. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1983. 31p.
- RAIJ, B.van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C., eds. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1986. 285p. (Boletim Técnico, 100)
- REZENDE, C.I. Influência da aplicação de lodo de esgoto (biossólido) sobre a concentração e o estoque de nutrientes na biomassa do sub-bosque, na serrapilheira e no solo de um talhão de *E. grandis*. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2005. 97p. (Tese de Mestrado)
- RICCI, A.B.; PADOVANI, V.C.R. & PAULA JÚNIOR, D.R. Uso de lodo de esgoto estabilizado em um solo decapitado. I – Atributos físicos e revegetação. *R. Bras. Ci. Solo*, 34:535-542, 2010.
- SILVA, F.C.; BOARETTO, A.E.; BERTON, R.S.; ZOTELLI, H.B. & BERNARDES, C.A. Efeito de lodo de esgoto na fertilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. *Pesq. Agropec. Bras.*, 36:831-840, 2001.
- SOARES, M.T. Taxas de mineralização e de lixiviação do nitrogênio e alterações da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Amarelo degradado e outro não degradado fertilizados com biossólidos e cultivados com *Eucalyptus grandis*. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2003. 161p. (Tese de Doutorado)
- VIEIRA, R.F.; TANAKA, R.T.; TSAI, S.M. & SILVA, D.V. Disponibilidade de nutrientes no solo, qualidade de grãos e produtividade da soja em solo adubado com lodo de esgoto. *Pesq. Agropec. Bras.*, 40:919-926, 2005.