

LODO DE ESGOTO NA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS: EFEITO NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO⁽¹⁾

Thalita Fernanda Sampaio⁽²⁾, Iraê Amaral Guerrini⁽³⁾, Clarice Backes⁽⁴⁾, Julia Carolina Athanázio Heliodoro⁽⁵⁾, Helena Souza Ronchi⁽⁵⁾, Kaliana Moro Tanganelli⁽⁶⁾, Nayara Cristina de Carvalho⁽⁷⁾ & Fernando Carvalho Oliveira⁽⁸⁾

RESUMO

A recuperação de áreas degradadas é um processo lento e requer a adição de resíduos orgânicos como condicionador das propriedades físicas do solo. O lodo de esgoto apresenta elevados teores de matéria orgânica (MO) e nutrientes e, portanto, tem alto potencial para utilização nessas áreas. O objetivo deste trabalho foi verificar o efeito da adição de lodo de esgoto na recuperação das características físicas de um solo degradado (Neossolo Quartzarênico) plantado com espécies nativas da Mata Atlântica, na Fazenda Entre-Rios, pertencente à Cia. Suzano Bahia Sul de Papel e Celulose, na região de Itatinga-SP. O experimento foi conduzido em blocos casualizados com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por seis doses de lodo de esgoto (0, 2,5, 5, 10, 15 e 20 t ha⁻¹), mais um que recebeu a adubação química. A aplicação de lodo de esgoto, para recuperação de áreas degradadas, aumentou os agregados do solo conforme o aumento das doses de lodo, até 12 meses após sua aplicação. As porosidades (macro, micro e total) do solo foram aumentadas com as maiores doses de lodo de esgoto até seis meses após sua aplicação; apenas a microporosidade foi aumentada até 12 meses após a aplicação. Houve aumento da umidade do solo em função do aumento das doses de lodo no solo até seis meses após a aplicação.

Termos de indexação: biossólidos, resíduos orgânicos, solo arenoso.

-
- ⁽¹⁾ Parte da dissertação de Mestrado da primeira autora. Recebido para publicação em 09 de junho de 2011 e aprovado em 18 de julho de 2012.
- ⁽²⁾ Doutoranda em Ciência Florestal, Faculdade de Ciências Agrônomicas - FCA/UNESP. Caixa Postal 237. CEP 18610-370 Botucatu (SP). E-mail: tfsampaio@fca.unesp.br
- ⁽³⁾ Professor Titular, FCA/UNESP, Bolsista do CNPq. E-mail: iguerrini@fca.unesp.br
- ⁽⁴⁾ Doutora em Agronomia, FCA/UNESP. E-mail: claricebackes@yahoo.com.br
- ⁽⁵⁾ Graduandas em Engenharia Florestal, FCA/UNESP. E-mail: jcaheliodoro@fca.unesp.br , hsrnchi@fca.unesp.br
- ⁽⁶⁾ Engenheira Florestal, FCA/UNESP. E-mail: kali_mt@hotmail.com
- ⁽⁷⁾ Engenheira Florestal, Companhia Suzano de Papel e Celulose. Rua Prudente Moraes, 3626. CEP 08613-135 Suzano (SP). E-mail: ncarvalho@suzano.com.br
- ⁽⁸⁾ Engenheiro-Agrônomo. BIOSOLO - Agricultura e Ambiente. Rua Campos Sales, 1818. CEP 13416-310 Piracicaba (SP). E-mail: fernando@biosolo.com.br

SUMMARY: SOIL PHYSICAL CHARACTERISTICS AFTER THE APPLICATION OF SEWAGE SLUDGE AS SOIL CONDITIONER

The recovery of degraded areas is a slow process and requires the addition of organic residues to improve the soil physical properties. It is known that sewage sludge has a high content of organic matter and nutrients, acting as soil conditioner and supplying nutrients to soil and plants. In a degraded Entisol (typic Quartzipsamment) area, on the Fazenda Entre Rios of the company Suzano Bahia Sul Pulp and Paper, in Itatinga-SP, native Atlantic Forest species were planted. The area was treated with increasing doses of sewage sludge (0; 2.5; 5; 10; 15; and 20 t ha⁻¹), which was compared with chemical fertilization and control (no sludge and no fertilizer). The objective was to evaluate the effects of sewage sludge on soil physical characteristics. The use of higher doses of sewage sludge increased aggregate formation and soil porosity, until 12 months after application. Soil humidity and porosity (macro, micro and total) increased until six months after application of the highest sewage sludge rate, whereas microporosity was influenced until 12 months after application.

Index terms: biosolids, organic residues, sandy soil.

INTRODUÇÃO

O surgimento de áreas degradadas no Brasil aumenta consideravelmente ao longo dos anos, ocasionando inúmeros prejuízos ao meio ambiente (Bezerra et al., 2006). Área degradada pode ser conceituada como um ambiente modificado por uma obra de engenharia ou submetido a processos erosivos intensos que alteraram suas características originais além do limite de recuperação natural dos solos, exigindo, assim, a intervenção do homem para sua recuperação (Noffs et al., 2011).

O procedimento para recuperação de áreas degradadas é lento e está relacionado à capacidade de restabelecimento do solo, principalmente em relação às suas propriedades físicas. Para promover melhorias nas características físicas de solos degradados, especialmente os de textura arenosa, o uso de materiais orgânicos é extremamente importante, pois um dos principais efeitos da matéria orgânica (MO) sobre os atributos físicos do solo está associado ao grau de agregação, que, consequentemente, altera a densidade, a porosidade, a aeração e a capacidade de retenção e infiltração de água (Melo & Marques, 2000; Barbosa et al., 2002).

A maior agregação atribuída ao aumento no teor de MO deve-se ao fato de esta apresentar grande superfície específica e capacidade de troca de cátions, o que possibilita maior número de ligações eletrostáticas entre ela e às partículas de solo. Além disso, a sua decomposição por microrganismos resulta na formação de inúmeros compostos importantes na cimentação e estabilização dos agregados (Angers, 1992). A MO agrega partículas minerais em decorrência de sua estrutura complexa e longas cadeias de carbono (Tisdall & Oades, 1982).

Como fonte alternativa de MO, o lodo de esgoto vem revelando-se um importante insumo agrícola, de interesse na recomposição de solos degradados, bem como na fertilização das culturas, de preferência

aquelas que não são de consumo direto pelos seres humanos (Campos & Alves, 2008). Alguns trabalhos têm demonstrado que a aplicação do lodo de esgoto pode resultar na recuperação das características físicas de solos degradados (Melo et al., 2004; De Maria et al., 2007; Kitamura et al., 2008; Campos & Alves, 2008).

De Maria et al. (2007) verificaram que a aplicação de lodo de esgoto em um Latossolo Vermelho proporcionou aumento gradativo no diâmetro dos agregados do solo na camada de 0-0,10 m. Para maior agregação do solo, é necessária a presença de agentes cimentantes (Filizola et al., 2006), e o lodo de esgoto, por ser de composição predominantemente orgânica, melhora o estado de agregação das partículas do solo.

Kitamura et al. (2008), ao estudarem ações para acelerar a formação do horizonte A de um Latossolo Vermelho degradado, via uso de adubos verdes, lodo de esgoto e cultivo de uma espécie arbórea nativa de Cerrado, verificaram que a densidade do solo foi a propriedade física mais sensível para detectar alterações na recuperação do solo. Após um ano de implantação dos tratamentos, esses autores obtiveram valores que variaram de 1,56 a 1,59 kg dm⁻³, sendo a condição da testemunha (sem tratamentos para recuperação) igual a 1,77 kg dm⁻³.

Campos & Alves (2008) constataram que o lodo de esgoto influenciou as propriedades físicas de Latossolo Vermelho degradado quando comparado ao solo exposto (sem tratamento para recuperação). Os tratamentos de recuperação proporcionaram maior quantidade de macroporos. Resultados semelhantes foram observados por Melo et al. (2004), os quais observaram que a incorporação de 50 t ha⁻¹ de lodo aumentou a macroporosidade na camada mais superficial do solo.

Vários trabalhos demonstram as melhorias nas características físicas, principalmente de solos de textura média e argilosa, e seus efeitos podem ser diferenciados no caso de um solo arenoso. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi verificar o efeito da adição

de lodo de esgoto na melhoria das características físicas de um solo degradado (Neossolo Quartzarênico), ao longo do tempo, na região de Itatinga-SP.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Fazenda Entre-Rios, da Companhia Suzano Bahia Sul de Papel e Celulose, na região de Itatinga-SP. A área encontra-se nas coordenadas geográficas de 23° 18' de latitude sul e 48° 30' de longitude oeste de Greenwich, a 636 m de altitude.

O relevo é plano, e o solo original, um Neossolo Quartzarênico (Embrapa, 2006). A área apresentava-se degradada pela perda da camada superficial e com alto nível de compactação, por ter sido utilizada como depósito de madeira pela empresa. Antes da implantação do experimento, foram coletadas amostras de solo para realização de análises químicas e físicas (Quadro 1).

Iniciou-se a instalação do experimento em março de 2005, quando foi realizada a raspagem do terreno com uma patrol, para retirada da braquiária, e preparo do solo com subsolador de dupla haste até a profundidade de 0,50 m. Devido à compactação excessiva, houve necessidade de se fazer uma subsolagem cruzada. Fez-se o plantio de espécies arbóreas, nativas da Mata Atlântica, na área em estudo.

O elevado nível de compactação do solo foi determinado com o auxílio de um penetrógrafo, marca SoilControl, modelo SC-60, onde foram comparadas as medições realizadas na área de estudo com a de outra área ao lado com plantio de eucalipto, a qual não apresentava sinais de degradação. Verificou-se que

na área experimental a haste do penetrógrafo não conseguiu penetrar o solo até o limite de 35 kg cm⁻², indicando alto nível de compactação (Figura 1). Na área adjacente verificou-se a elevação da compactação do solo na linha de plantio com eucalipto apenas em profundidades maiores que 0,45 m.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com quatro repetições, em parcelas de 384 m². Os tratamentos foram compostos por seis doses de lodo de esgoto: 0, 2,5, 5, 10, 15 e 20 t ha⁻¹, mais um tratamento que recebeu adubação mineral utilizada pela empresa. Devido ao baixo teor de K no lodo de esgoto, foi realizada a complementação com o nutriente na forma de KCl (26 kg ha⁻¹ de K₂O), em todas as parcelas que receberam o resíduo - mesma quantidade fornecida pelo adubo mineral.

O tratamento com adubação mineral, utilizado pela empresa, foi: 260 kg ha⁻¹ da fórmula 6-30-10 + 0,3 % B no plantio, em área total, totalizando 156 g da fórmula por cova, ou seja, 9,36 g de N, 20,43 g de P e 12,94 g de K. Foi adicionado 1,0 kg ha⁻¹ de Zn (3 g de sulfato de zinco por cova), conforme análise de solo e recomendação de Gonçalves et al. (1996). Os adubos químicos utilizados na fórmula foram: sulfato de amônio, superfosfato simples, cloreto de potássio e ácido bórico. Com base na análise de solo e nas recomendações de adubação e calagem para espécies nativas da Mata Atlântica sugeridas por Gonçalves et al. (1996), aplicou-se 1,089 t ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT = 90,95 %) no tratamento que recebeu adubação mineral.

O lodo de esgoto utilizado foi proveniente da estação de tratamento de esgoto da cidade de Jundiá-SP, que utiliza o processo de lagoas aeradas de mistura completa, seguida de lagoa de decantação, para sua higienização. A sua caracterização química é apresentada no quadro 2.

Quadro 1. Análises química e física do solo na camada de 0-0,20 m, antes da implantação do experimento

Análise química									
pH(CaCl ₂)	M.O.	Al ³⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	H+Al	CTC	V%
	g dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³							
4,4	9	4	0,43	4,3	1	5,3	23,3	28,3	18,5
Análise química									
P _{res}	B	Cu	Fe	Mn	Zn				
	mg dm ⁻³								
4,3	12,6	4,6	27,6	0,6	0,1				
Análise física									
Areia Grossa	Areia Fina	Areia Total	Argila	Silte	Classe textural				
g kg ⁻¹									
54	846	900	92	8	Arenosa				

Fonte: Laboratório de Fertilidade e Física do solo da FCA/UNESP - campus de Botucatu (SP).

Nas análises de metais pesados (Quadro 2), os valores encontrados no lodo estão abaixo do limite estabelecido pelas normas do Conama (2006), que regulamenta a utilização do lodo de esgoto na agricultura brasileira, sendo esse limite de 1.500, 2.800, 41, 39, 1.000, 17, 420 e 300 mg kg⁻¹ para Cu, Zn, As, Cd, Cr, Hg, Ni e Pb, respectivamente.

Cada parcela experimental foi reflorestada com espécies pioneiras, secundárias e clímax, selecionadas em função de suas características ecológicas e silviculturais entre as de ocorrência mais frequente na região da Mata Atlântica, conforme estudos prévios citados por Martins & Guerrini (2001), sendo elas:

Cytharexillum myrianthum - pau-viola; *Croton floribundus* - capixingui; *Schinus terebinthifolius* - aroeira-pimenteira; *Peltophorum dubium* - canafistula; *Cedrella fissilis* - cedro; *Guazuma ulmifolia* - mutamba; *Anadenanthera macrocarpa* - angico-vermelho; *Copaifera langsdorffii* - copaíba; *Hymenaea courbaril* - jatobá; e *Cariniana estrellensis* - jequitibá-branco. O plantio das árvores ocorreu no início de agosto de 2005. O lodo de esgoto foi distribuído mecanicamente na linha de plantio e incorporado.

As propriedades físicas do solo analisadas foram: estabilidade de agregados, pelo método do peneiramento seco; retenção de água (0,003 e 0,006 MPa), pelo método da mesa de tensão; porosidade total, por meio do método do anel volumétrico; microporosidade, pelo método da mesa de tensão com coluna de água de 60 cm; e macroporosidade, por diferença entre a porosidade total e a microporosidade. Todos os métodos foram realizados de acordo com Embrapa (1997).

Para avaliação de estabilidade de agregados e teor de MO no solo, foram coletadas amostras na camada de 0-0,20 m com o auxílio de um trado holandês, utilizando-se 15 amostras simples para formar uma composta, por parcela. Quanto às análises de porosidade do solo e retenção de água, coletaram-se amostras indeformadas em anel volumétrico com capacidade de 10⁻⁴ m³, também na camada de 0-0,20 m. As amostragens foram realizadas aos 6, 12 e 18 meses após a aplicação do lodo de esgoto.

Os resultados foram submetidos à análise estatística. As médias dos dados foram comparadas pelo teste de Tukey a 5 %, quando o F apresentou valor significativo. Os resultados das doses de lodo foram submetidos à análise de regressão, com escolha do modelo de melhor ajuste, quando significativo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O uso do lodo de esgoto influenciou na formação dos agregados do solo até 12 meses após sua aplicação e somente em relação aos agregados de maior e menor tamanho, aqueles que ficaram retidos nas peneiras de 4,0-2,0 e 0,5-0,0 mm, respectivamente (Quadro 3).

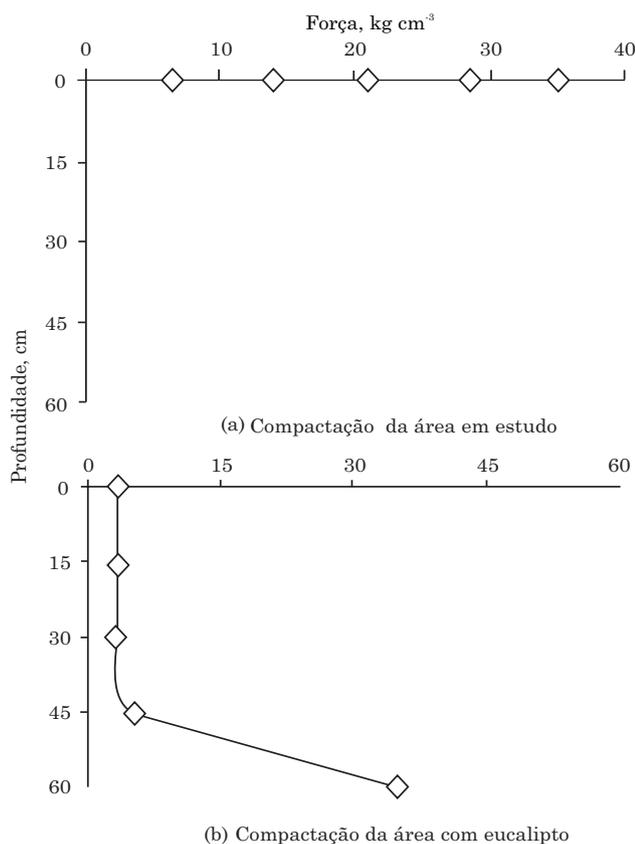


Figura 1. Profundidades alcançadas pelo penetrógrafo na área em estudo (a) e na área vizinha com plantio de eucalipto (b).

Quadro 2. Caracterização química do lodo de esgoto utilizado no experimento

N _{total}	P	K	Ca	Mg	S	M.O.	CO	Umid.	C/N
g kg ⁻¹								%	
25	16,6	1,9	12,2	2,3	19,2	440	200	55	8
Cu	Zn	As	Cd	Cr	Hg	Ni	Pb	pH (CaCl ₂)	
mg kg ⁻¹									
850	573	0,1	8,24	162,7	< 0,1	37,8	164,4	5,0	

Verifica-se que os tratamentos que não receberam lodo e os que receberam a menor dose apresentaram maior quantidade de agregados com menores diâmetros (< 0,5 mm). Esse menor diâmetro de agregados e até mesmo a não formação de agregados nesses tratamentos são justificados pela baixa quantidade de argila e MO nesse solo, já que se trata de um solo de textura arenosa.

Na classe de agregados com tamanho entre 4 e 2 mm, a maior classe avaliada, observou-se que aos seis meses após a aplicação do lodo de esgoto houve aumento na porcentagem quando aplicadas as maiores doses: 15 e 20 t ha⁻¹. Contudo, esses tratamentos diferiram apenas do que recebeu a quantidade de 2,5 t ha⁻¹ de lodo de esgoto e dos

Quadro 3. Estabilidade de agregados do solo após aplicação do lodo de esgoto e da adubação mineral

Tratamento	Fração Retida (%)				
	4,0-2,0	2,0-1,0	1,0-0,5	0,5-0,25	< 0,25
t ha ⁻¹	mm				
	6 meses				
NPK	10,26 b	12,79	4,78	10,25 a	61,42 a
0,0	9,8 b	13,61	4,48	9,15 ab	62,96 a
2,5	7,04 b	13,77	5,12	8,74 ab	65,33 a
5,0	18,11 ab	13,83	5,12	10,32 a	52,62 ab
10,0	21,31 ab	12,66	4,66	8,9 ab	52,47 ab
15,0	36,00 a	13,58	3,19	6,54 b	40,69 ab
20,0	37,02 a	17,13	4,66	8,97 ab	32,22 b
F	**	ns	ns	*	**
C.V. (%)	59,44	25,47	34,27	16,59	20,18
	12 meses				
NPK	5,3 b	15,8	4,4	9,4 ab	65,1 a
0,0	7,6 b	14,2	4,9	10,2 a	63,1 a
2,5	10,6 b	13,4	4,9	11,2 a	59,9 a
5,0	16,1 b	12,9	5,6	9,9 a	55,5 ab
10,0	15,1 ab	16,3	5,3	8,7 ab	54,6 ab
15,0	20,0 ab	13,2	4,6	8,9 ab	53,3 ab
20,0	35,0 a	16,5	4,0	6,6 b	37,9 b
F	**	ns	ns	**	**
C.V. (%)	53,57	20,59	17,16	13,90	13,53
	18 meses				
NPK	1,00	1,75	11,76	67,24	18,25
0,0	1,00	2,25	12,76	66,24	17,75
2,5	1,00	1,75	13,54	65,16	18,55
5,0	1,00	1,50	9,77	68,43	19,8
10,0	1,00	1,99	12,96	65,33	18,72
15,0	1,00	1,50	9,27	69,29	18,94
20,0	1,00	2,00	12,00	66,01	18,99
F	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	21,90	33,61	24,50	4,97	15,97

* significativo a 5 %, ** significativo a 1 % e ns = não significativo pelo teste de Tukey, respectivamente.

tratamentos que não receberam lodo (Quadro 3). A distribuição de agregados em classes de tamanhos reflete o comportamento dos agregados no solo e serve como instrumento indicador de qualidade de solo. Nesse caso, a adição de lodo de esgoto resultou na formação de agregados de maior tamanho, indicando melhoria na qualidade física do solo. De Maria et al. (2007) avaliaram a utilização do lodo da ETE Jundiáí como condicionador de solo (Latosolo Vermelho eutroférrico de textura argilosa), visando à recuperação de área degradada por manejo inadequado. Esses autores constataram aumento do diâmetro dos agregados e, portanto, da estabilidade destes em função do aumento das doses de lodo de esgoto.

Aos 12 meses da aplicação do lodo (Quadro 3), verificou-se redução da quantidade de agregados de maior tamanho, em que apenas a dose de 20 t ha⁻¹ proporcionou os melhores resultados, e este tratamento não diferiu dos anteriores a ele (10 e 15 t ha⁻¹). Esse fato pode ser atribuído à decomposição ou mineralização da MO adicionada.

Após 18 meses da aplicação do lodo de esgoto, não houve mais diferenças entre os tratamentos na estabilidade de agregados (Quadro 3). Os resultados indicam que após esse período deve ter ocorrido mineralização da MO presente no lodo de esgoto, não permitindo, assim, seu efeito benéfico nessa característica física por mais tempo.

Quando avaliadas apenas as doses de lodo de esgoto, verificou-se aos seis e 12 meses que doses crescentes acarretam acréscimos na porcentagem de agregados retidos na fração de 4,0-2,0 mm (Figura 2). Quanto maior a quantidade de lodo de esgoto adicionado, maior a influência da MO na estabilidade de agregados.

Para a porosidade do solo (Quadro 4), verificou-se que aos seis meses após a aplicação do lodo houve influência dos tratamentos na quantidade de macro, micro e porosidade total do solo, sendo os valores superiores nos tratamentos que receberam lodo de

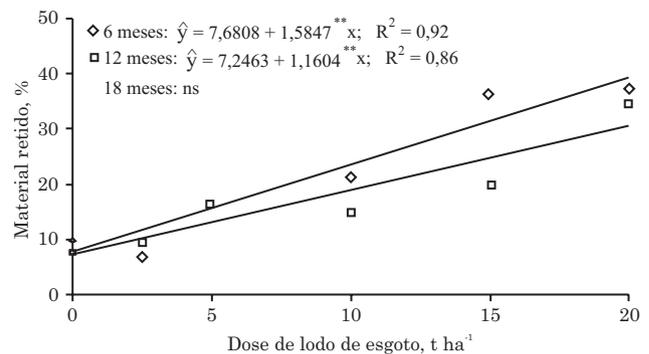


Figura 2. Quantidade de agregados formados (retido em peneira de 2 mm) em função de doses de lodo de esgoto adicionado ao solo, 6 e 12 meses após sua aplicação. ** = significativo a 1 %; ns = não significativo.

Quadro 4. Porosidade do solo após 6, 12 e 18 meses da aplicação dos tratamentos

Tratamento	Época (mês)								
	6			12			18		
	Macro	Micro	Total	Macro	Micro	Total	Macro	Micro	Total
t ha ⁻¹	%								
NPK	3,70 b	22,96 c	26,67 c	12,13	25,82 cd	37,95	15,00	22,39	37,38
0,0	3,97 b	23,53 bc	27,50 bc	13,46	25,74 d	40,42	15,00	22,77	37,77
2,5	4,90 ab	24,62 abc	29,53 ab	14,30	26,41 bcd	40,70	15,03	21,84	36,87
5,0	4,28 ab	24,47 abc	28,75 abc	13,36	27,18 ab	40,77	16,05	21,93	37,98
10,0	4,46 ab	24,02 abc	28,48 bc	13,86	26,62 abc	40,48	15,60	21,76	37,33
15,0	5,115 ab	25,04 ab	30,15 ab	13,91	27,47 a	41,04	15,63	22,22	37,85
20,0	5,63 a	25,66 a	31,29 a	13,82	26,64 abc	40,47	14,73	22,33	37,07
F	*	**	**	ns	**	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	16,98	3,15	4,05	9,96	1,34	3,74	10,76	3,23	3,64

*, ** e ns: significativo a 5 e 1 % e não significativo pelo teste de Tukey, *** antes da implantação do experimento.

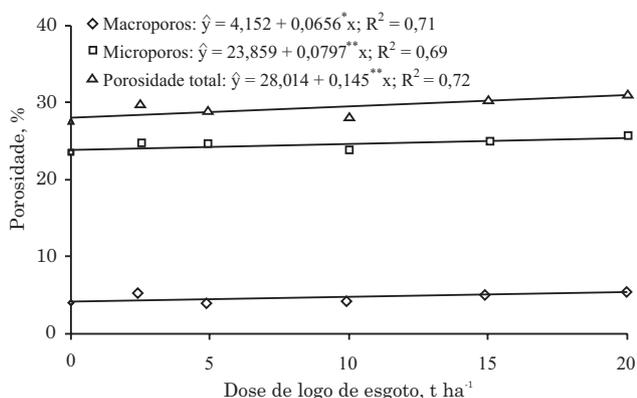


Figura 3. Porosidade do solo em função de doses de lodo de esgoto, adicionado ao solo seis meses após sua aplicação. * = significativo a 5 %, ** = significativo a 1 %.

esgoto. Os maiores valores foram observados na dose de 20 t ha⁻¹. Melo et al. (2004) verificaram aumento apenas na porosidade total do solo com a aplicação de doses acima de 47,5 e 50,0 t ha⁻¹ no LVd e LVef, respectivamente, na camada de 10 cm.

Em relação às doses, efeitos lineares foram observados com aumento na porosidade do solo em função do aumento das doses de lodo de esgoto (Figura 3).

Aos 12 meses houve influência dos tratamentos apenas para a microporosidade, em que a dose de 15 t ha⁻¹ de lodo de esgoto proporcionou os melhores resultados, não diferenciando dos tratamentos que receberam 5, 10 e 20 t ha⁻¹ (Quadro 4). Nessa época de avaliação não houve influência da aplicação do lodo na porosidade total, e esse resultado corrobora os obtidos por Furrer & Stauffer (1983), os quais afirmam

que, dependendo da condição física original do solo, a adição do lodo de esgoto pode não ter efeito significativo na porosidade total. Segundo Silva & Ribeiro (1997), além da quantidade de argila e MO, a quantidade de areia fina também pode contribuir para o aumento da microporosidade do solo, e a quantidade de areia fina determinada no início deste experimento corresponde a 94 % do total (Quadro 1). Jorge et al. (1991) e Melo et al. (2004) mostraram que quantidades de lodo de esgoto de até 50 t ha⁻¹ não alteraram a porosidade e microporosidade do solo.

Aos 18 meses após a aplicação do lodo já não ocorreu influência dos tratamentos na porosidade do solo, e a maior quantidade de macro e porosidade total obtida nessa época pode ser atribuída ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas.

Na determinação do teor de água (umidade) retida pelo solo (Quadro 3), houve influência dos tratamentos no solo saturado e na tensão de 0,006 MPa aos seis meses após a aplicação. Nesse caso, houve maior retenção de água pelo solo quando aplicada a maior dose de lodo de esgoto. Esses resultados podem ser atribuídos à formação de agregados maiores (Quadro 3), que influencia na mobilidade de água no solo, e à característica de grande capacidade de retenção de água apresentada pelos materiais orgânicos. Melo et al. (2004) não obtiveram alterações na retenção de água quando aplicaram doses de até 50 t ha⁻¹ de lodo de esgoto em solos de textura média e argilosa.

O efeito da aplicação do lodo na retenção de água depende do tipo de solo e da quantidade aplicada. Segundo Marciano et al. (2001), quando o solo originalmente possui boa estrutura, podem não ocorrer melhorias nos atributos físicos, mesmo com a aplicação de grande quantidade de lodo, principalmente em

propriedades com grande variabilidade espacial, como as de transmissão de água no solo. Neste experimento, por se tratar de um solo arenoso, pouco estruturado, a adição de MO proporcionou melhorias nos atributos do solo. Além disso, o aumento na microporosidade do solo aos seis e 12 meses também influenciou no aumento da retenção de água pelo solo, o qual foi significativo apenas aos seis meses após a aplicação do lodo.

Quando foram consideradas apenas as doses de lodo, verificou-se que, com o aumento delas, houve aumento da quantidade de água no solo saturado e na retenção de água, considerando-se a tensão de 0,006 MPa (Figura 4).

A relação positiva entre microporosidade e capacidade de retenção de água foi observada por diversos autores (Silva & Ribeiro, 1997; Dalmago et al., 2009), porém, mesmo com o aumento da

microporosidade aos 12 meses, verificado neste experimento (Quadro 4), não foi observada retenção de água nessa mesma época avaliada. Quando se observam as épocas avaliadas, verifica-se que aos 12 meses não houve redução da retenção de água, quando comparada com a avaliação anterior. As maiores retenção e disponibilidade de água às plantas também podem ser atribuídas à barreira formada pelos resíduos (folhas e galhos), que reduziram a evaporação da água na superfície.

Os resultados obtidos indicam que a quantidade de lodo aplicado foi suficiente para melhorar as características físicas do solo até os 12 meses, quando se verificou influência dos tratamentos na formação de agregados e na porosidade do solo. Esses efeitos não foram mais observados a partir dessa época devido à mineralização da MO, visto que aos 18 meses não houve influência dos tratamentos para os parâmetros avaliados, o que pode ser comprovado com a análise química da MO no período em estudo (Quadro 6). Em razão disso, a reaplicação do lodo de esgoto seria uma boa maneira de manter as características físicas do solo degradado.

CONCLUSÕES

1. A aplicação de 15 a 20 t ha⁻¹ lodo de esgoto no solo proporcionou a formação de agregados até 12 meses após a aplicação.
2. As porosidades do solo foram aumentadas com aplicação de 20 t ha⁻¹ de lodo de esgoto, aos seis meses após a aplicação; aos 12 meses da aplicação, houve aumento apenas da microporosidade.

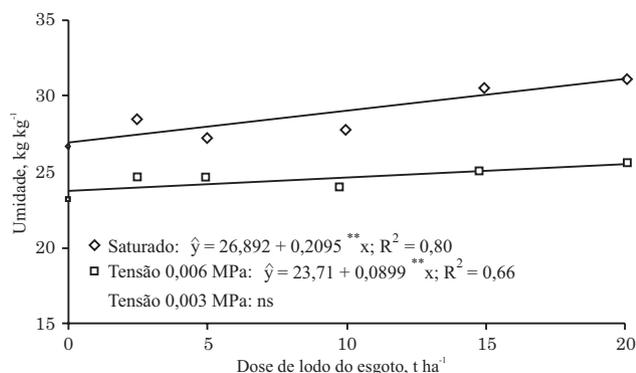


Figura 4. Umidade do solo em função de doses de lodo de esgoto, seis meses após sua aplicação. ** = significativo a 1 %, n = não significativo.

Quadro 5. Umidade do solo aos 6, 12 e 18 meses após a aplicação do lodo de esgoto e da adubação mineral

Tratamento	Época (mês)								
	6			12			18		
	Porosidade								
	Saturado	0,003	0,006	Saturado	0,003	0,006	Saturado	0,003	0,006
t ha ⁻¹	%								
NPK	0,276 bc	0,264	0,237 bc	0,379	0,312	0,258	0,150	0,373	0,223
0,0	0,266 c	0,261	0,231 c	0,404	0,314	0,269	0,150	0,377	0,227
2,5	0,286 abc	0,267	0,246 abc	0,407	0,302	0,264	0,150	0,368	0,218
5,0	0,274 c	0,261	0,244 abc	0,407	0,322	0,274	0,160	0,379	0,219
10,0	0,278 bc	0,261	0,240 abc	0,404	0,308	0,266	0,156	0,373	0,217
15,0	0,304 ab	0,267	0,250 ab	0,410	0,320	0,271	0,156	0,378	0,222
20,0	0,31 a	0,271	0,256 a	0,404	0,310	0,266	0,147	0,370	0,223
F	**	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	4,28	5,86	3,06	3,74	10,73	1,93	10,76	3,64	3,23

** significativo a 1 % e ns = não significativo pelo teste de Tukey, respectivamente.

Quadro 6. Teor de matéria orgânica no solo antes da implantação do experimento e nos três períodos de avaliação

Tratamento	Matéria Orgânica			
	Época (mês)			
	***Antes	6	12	18
t ha ⁻¹	g dm ⁻³			
NPK	9,0	12,6 b	12,7 ab	8,9
0,0	9,0	13,0 b	12,7 ab	8,4
2,5	9,0	17,6 ab	11,0 b	9,5
5,0	9,0	17,6 ab	13,2 ab	9,1
10,0	9,0	18,1 ab	13,7 ab	8,7
15,0	9,0	19,8 a	16,0 a	10,9
20,0	9,0	21,0 a	16,2 a	9,1
F	**		*	ns
C.V. (%)		16,6	14,13	11,8

*, ** e ns: significativo a 5 e 1 % e não significativo pelo teste de Tukey, *** antes da implantação do experimento.

3. O teor de água retido no solo saturado e a 0,006 MPa aumentou em função da aplicação de até de 20 t ha⁻¹ de lodo de esgoto aos seis meses.

LIERATURA CITADA

- ANGERS, D.A. Changes in soil aggregation and organic carbon under corn and alfafa. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56:1244-1249, 1992.
- BARBOSA, G.M.C.; TAVARES FILHO, J. & FONSECA, I.C.B. Avaliações de propriedades físicas de um Latossolo Vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto por dois anos consecutivos. *Sanare*, 17:94-101, 2002.
- BEZERRA, F.B.; OLIVEIRA, M.A.C.L.; PEREZ, D.V.; ANDRADE, A.G. & MENEGUELLI, N.A. Lodo de esgoto em revegetação de área degradada. *Pesq. Agropec. Bras.*, 41:469-476, 2006.
- CAMPOS, F.S. & ALVES, M.C. Uso de lodo de esgoto na reestruturação de solo degradado. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:1389-1397, 2008.
- CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE - CONAMA. 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 produtos derivados, e dá outras providências. Brasília, Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente, 2006.
- DALMAGO, G.A.; BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J.I.; KRÜGER, C.A.M.B.; COMIRAN, F. & HECKLER, B.M.M. Retenção e disponibilidade de água às plantas, em solo sob plantio direto e preparo convencional. *R. Bras. Eng. Agríc. Amb.*, 13:855-864, 2009.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos-CNPS. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, Embrapa-SPI/Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 306p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos-CNPS. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 1997. 212p.
- FILIZOLA, H.F.; SOUZA, M.D.; GOMES, M.A.F. & BOEIRA, R.C. Lodo de esgoto: estabilidade de agregados e argila dispersa em água. In: BETTIOL, W. & CAMARGO, O.A., eds. Lodo de esgoto: Impactos ambientais na agricultura. Jaguariúna, Embrapa Meio Ambiente, 2006. p.137-148.
- FURRER, O.J. & STAUFFER, W. Influence of sewage sludge application on physical properties of soils and its contribution to the humus balance. In: FURRER, O.J. & STAUFFER, W., eds. The influence of sewage sludge application on physical and biological properties of soils. Dordrecht, D. Reidel, 1983. p.65-74.
- GONÇALVES, J.L.M.; RAIJ, B.van & GONÇALVES, J.C. Florestais. In: 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 e Fundação IAC, 1996. p.247-259.
- JORGE, J.A.; CAMARGO, O.A. & VALADARES, J.M.A.S. Condições físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro quatro anos após aplicação de lodo de esgoto e calcário. *R. Bras. Ci. Solo*, 15:237-240, 1991.
- KITAMURA, A.E.; ALVES, M.C.; SUZUKI, L.G.A.S. & GONZALEZ, A.P. Recuperação de um solo degradado com a aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:405-416, 2008.
- MARCIANO, C.R.; MORAES, S.O.; OLIVEIRA, F.C. & MATTIAZZO, M.E. Efeito do lodo de esgoto e do composto de lixo urbano sobre a condutividade hidráulica de um Latossolo Amarelo saturado e não saturado. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:1-9, 2001.
- DE MARIA, I.C.; KOCSSI, M.A. & DECHEN, S.C.F. Agregação do solo em área que recebeu lodo de esgoto. *Bragantia*, 66:291-198, 2007.
- MARTINS, P.D. & GUERRINI, I.A. Análise nutricional de algumas espécies nativas da Mata Atlântica: I. Espécies pioneiras e secundárias. Botucatu, UNESP/FCA/ Depto. de Recursos Naturais/ Depto. de Ciência do Solo, 2001. 28p. (Relatório PIBIC/CNPq, dados não publicados)
- MELO, W.J. & MARQUES, M.O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W. & CAMARGO, O.A., eds. Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna, Embrapa Meio Ambiente, 2000. p.109-141.
- MELO, V.P.; BEUTLER, A.N.; SOUZA, Z.M.; CENTURION, J.F. & MELO, W.J. Atributos físicos de Latossolos adubados com biossólido. *Pesq. Agropec. Bras.*, 39:67-72, 2004.

- NOFFS, P.S.; GALLI, L.F. & GONÇALVES, J.C. Recuperação de áreas degradadas da mata atlântica: Uma experiência da CESP - Companhia Energética de São Paulo. (Caderno, 3) Disponível em: http://www.em.ufop.br/ceamb/petamb/cariboost_files/rec_20areas_20mata_20atlantica.pdf> Acesso em: 27 de maio de 2011
- SILVA, A.J.N. & RIBEIRO, M.R. Caracterização de Latossolo Amarelo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar no estado de Alagoas: Atributos morfológicos e físicos. R. Bras. Ci. Solo, 21:677-684, 1997.
- TISDALL, J.M. & OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soil. Eur. J. Soil Sci., 3:141-163, 1982.