

CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA E NÃO SATURADA DE LATOSSOLO VERMELHO EUTROFÉRICO TRATADO COM LODO DE ESGOTO⁽¹⁾

G. M. C. BARBOSA⁽²⁾, J. TAVARES FILHO⁽³⁾ & I. C. B. FONSECA⁽³⁾

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo avaliar os efeitos de diferentes doses de lodo de esgoto na condutividade hidráulica saturada e não saturada de um Latossolo Vermelho eutroférico (Oxisol) durante dois anos consecutivos. O experimento foi instalado no campo, com delineamento em blocos ao acaso com três repetições com os seguintes tratamentos: testemunha e adubação orgânica com lodo de esgoto em doses crescentes de 6, 12, 18, 24 e 36 Mg ha⁻¹ em base seca e complementação mineral. As medições de condutividade foram realizadas no campo com infiltrômetro de sucção controlada para os potenciais matriciais 0, -1, -3 e -6 kPa. Nas condições em que foi realizado este experimento, concluiu-se que a dose de 12 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto alterou a condutividade hidráulica nos potenciais 0 e -1 kPa, respectivamente.

Termos de indexação: biossólido, potencial matricial, agregação do solo

SUMMARY: *SATURATED AND UNSATURATED HYDRAULIC CONDUCTIVITY OF A SEWAGE SLUDGE TREATED "LATOSSOLO VERMELHO EUTROFÉRICO" (OXISOL)*

This work aimed to evaluate the effects of sewage sludge application on the saturated and unsaturated hydraulic conductivity of a eutrophyc Red Latosol (Oxisol) during two consecutive years. This field experiment was conducted in a complete randomized block design with 3 replications and with the following treatments: control and increasing doses

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado, apresentada pelo primeiro autor para obtenção do título de Mestre em Agronomia pela Universidade Estadual de Londrina – UEL. Recebido para publicação em julho de 2002 e aprovado em janeiro de 2004.

⁽²⁾ Doutoranda em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina – UEL. Caixa Postal 6001, CEP 86051-990 Londrina (PR). E-mail: obarbosa@sercomtel.com.br

⁽³⁾ Professor do Departamento de Agronomia, UEL. E-mail: tavares@uel.br

organic fertilization with sewage sludge (6, 12, 18, 24, and 36 Mg ha⁻¹ on a dry basis) and mineral supplementation. The conductivity was measured in the field with a controlled suction infiltrometer for the matric potentials of 0, -1, -3 and -6 kPa. Under the experimental conditions of the present experiment, it was concluded that a sewage sludge dose of 12 Mg ha⁻¹ altered the hydraulic conductivity at the potentials of 0 and -1 kPa, respectively.

Index terms: biosolids, matric potentials, soil aggregation.

INTRODUÇÃO

O lodo de esgoto nos países desenvolvidos tem sido utilizado, predominantemente, em terras produtivas reservadas para agricultura e pecuária, bem como depositado em aterros sanitários (Luduvic, 2000). Essa reciclagem transforma o lodo de esgoto em um importante insumo agrícola, que fornece matéria orgânica e nutrientes ao solo e vantagens indiretas ao homem e ao ambiente, não só por reduzir os efeitos adversos à saúde causados pela incineração, mas também por diminuir a dependência de fertilizantes químicos (Andreoli & Pegorini, 2000).

Uma característica importante do lodo de esgoto é a quantidade e a qualidade da matéria orgânica, que pode variar enormemente de acordo com sua procedência e época do ano (Melo & Marques, 2000). Ela desempenha um complexo papel na dinâmica dos solos, influenciando em suas características químicas, físico-químicas, biológicas e físicas.

A aplicação do lodo de esgoto no solo aumenta o seu teor de matéria orgânica (Bataglia et al., 1983; Outwater, 1994) e, como consequência, tem-se uma melhora na capacidade de armazenamento e de infiltração da água no solo, bem como na condutividade hidráulica próxima à saturação (Morel et al., 1978; Chang et al., 1983; Wei et al., 1985; Marciano et al., 2001; Barbosa et al., 2002), pelo aumento da porosidade total (Kladivko., 1979; Jorge et al., 1991; Lue-Hing et al., 1992; Wisniewski et al., 1996), aeração e formação de agregados (Carvalho & Barral, 1981; Bernardes, 1982; Tsutya, 2000; Marciano et al., 2001) e diminuição da densidade (Bernardes, 1982; Bonnet, 1995). Segundo Gupta et al. (1977), a condutividade hidráulica diminui conforme o aumento da dose de lodo nas parcelas de solos não saturados.

A condutividade hidráulica comporta-se de maneira diferente para cada tipo de solo. Assim, este trabalho teve por objetivo avaliar os efeitos de diferentes doses de lodo de esgoto na condutividade hidráulica de um Latossolo Vermelho eutroférico.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em um Latossolo Vermelho eutroférico, com teor de argila variando de 760 a 820 g kg⁻¹ entre 0-0,40 m, localizado no município de Londrina (PR), coordenadas geográficas 23 °23 ' de latitude S e 51 ° 11 ' de longitude W, altitude média 566 m e clima, segundo classificação de Köppen, do tipo Cfa - subtropical úmido.

O lodo utilizado (Quadro 1) foi digerido anaerobiamente, produzido em estação do tipo Reator Anaeróbio de Lodo Fluidizado - RALF, e tratado com cal (dolomítica) na concentração de 50 % do peso de lodo seco, com umidade variando de 50 a 75 %.

O solo do experimento recebeu calagem e, posteriormente, foi gradeado. Após estas operações, foi realizada a aplicação de lodo manualmente a cada seis meses e, em seguida, efetuou-se nova gradagem superficial (0-0,10 m) para incorporação. As dosagens totais de lodo de esgoto foram aplicadas durante dois anos, anterior ao plantio da safra de verão e, neste período, foram plantadas as culturas de aveia e milho nas safras de 1997, 1997/98 e 1998/99 (verão/inverno). Após o período de dois anos, cessada a aplicação do lodo de esgoto, fez-se o plantio de milho safrinha (1999) e deu-se início à coleta de dados no campo.

O delineamento experimental foi em blocos. A área total do experimento foi de 0,5 ha (três blocos, com seis tratamentos), totalizando 18 parcelas. Os

Quadro 1. Características químicas de uma amostra de lodo anaeróbio (RALF) utilizado na região de Londrina (PR) (adaptado de Andreoli, 1999)

pH (H ₂ O)	P ₂ O ₅ total	K ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	N total	M.O. total	C total	C/N
g kg ⁻¹								
6,1	9,5	3,4	8,3	3,0	22,2	362,0	201,0	9/1

tratamentos receberam doses anuais de lodo de esgoto divididos da seguinte forma: testemunha (calagem de 1 t ha⁻¹); 6 t ha⁻¹ de lodo calado; 12 t ha⁻¹ de lodo calado; 18 t ha⁻¹ de lodo calado; 24 t ha⁻¹ de lodo calado, e 36 t ha⁻¹ de lodo calado. Todos os tratamentos que utilizaram o lodo de esgoto receberam complementação mineral no verão (300 kg ha⁻¹), da formulação (08-18-16).

Após a colheita (manual) da safra de verão (milho), foi plantado o milho safrinha sem qualquer tipo de adubação. Em março de 1999, durante o desenvolvimento da cultura do milho safrinha, foi determinada a condutividade hidráulica por meio de infiltrômetro de sucção controlada (Ankeny et al., 1991), para as tensões 0, 1, 3 e 6 kPa na superfície. Foi aplicada uma cobertura no solo com areia de diâmetro ≤ 100 µm, para obter o contato adequado entre o tecido de náilon (infiltrômetro de sucção) e o solo. Nos locais onde foi determinada a condutividade hidráulica, coletaram-se amostras de solo para análise da estabilidade de agregados em água (método de Yoder), visando caracterizar a estrutura do solo (Quadro 2).

A análise estatística dos dados da condutividade hidráulica foi feita segundo esquema fatorial em blocos 6 x 4 (seis tratamentos x quatro potenciais) com três repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância e teste de comparações de médias de Tukey a 5 % e análise de regressão dos dados da condutividade de acordo com a dose (Hoffman & Vieira, 1983) para cada potencial estudado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Comparando os diferentes potenciais dentro de cada tratamento, percebeu-se que somente o tratamento 12 Mg ha⁻¹ mostrou diferença significativa de condutividade: maiores valores, 431,0 e 404,5 mm h⁻¹, nos potenciais 0 e -1 kPa (Quadro 3). Para estes potenciais em que foram detectadas as diferenças entre as doses, buscou-se realizar uma análise polinomial, porém nenhum ajuste até o 3º grau foi adequado para estes dois potenciais. Estes resultados estão de acordo com os de Marciano

Quadro 2. Médias da estabilidade de agregados do Latossolo Vermelho eutroférico utilizado no estudo

Tratamento - dose de lodo calado	DMP		DMG		IEA	
	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão
	mm				%	
Testemunha	3,61	0,41	1,25	0,17	80,57	2,66
6 Mg ha ⁻¹	4,46	0,23	1,64	0,07	83,88	1,29
12 Mg ha ⁻¹	5,10	0,69	2,37	0,89	87,90	4,42
18 Mg ha ⁻¹	4,63	1,22	1,95	0,49	89,01	6,25
24 Mg ha ⁻¹	4,10	0,58	1,68	0,08	87,64	5,52
36 Mg ha ⁻¹	4,78	0,25	1,93	0,27	86,69	2,15

DMP = Diâmetro médio ponderado; DMG = Diâmetro médio geométrico, e IEA = Índice de estabilidade de agregados.

Quadro 3. Efeito residual do lodo de esgoto na condutividade hidráulica do Latossolo Vermelho eutroférico utilizado no estudo

Tratamento - dose de lodo calado	Potencial matricial			
	0 kPa	-1 kPa	-3 kPa	-6 kPa
	mm h ⁻¹			
Testemunha	60,5 Ba ⁽¹⁾	104,0 Ba	37,5 Aa	33,0 Aa
6 Mg ha ⁻¹	48,5 Ba	33,5 Ba	14,5 Aa	5,0 Aa
12 Mg ha ⁻¹	431,0 Aa	404,5 Aa	23,5 Ab	10,0 Ab
18 Mg ha ⁻¹	90,0 Ba	56,5 Ba	10,5 Aa	4,0 Aa
24 Mg ha ⁻¹	100,5 Ba	80,0 Ba	21,0 Aa	13,0 Aa
36 Mg ha ⁻¹	61,5 Ba	82,5 Ba	11,0 Aa	4,5 Aa
C.V. (%)	44,98			

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra maiúscula, na coluna, e minúscula, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

(1999) que constatou maiores variações no conteúdo de água nos potenciais matriciais próximos à saturação e redução na condutividade hidráulica do solo nos outros potenciais. Por outro lado, Jorge et al. (1991) observaram que em oito tratamentos analisados, com e sem lodo de esgoto, não houve efeito sobre as propriedades de infiltração.

Ao comparar os tratamentos dentro de cada potencial, observou-se nos potenciais 0 e -1 kPa, que o tratamento 12 Mg ha⁻¹ diferiu dos demais. Nestes potenciais em que foram detectadas diferenças entre as doses, buscou-se realizar uma análise polinomial, porém nenhum ajuste até 3º grau foi adequado. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Morel et al. (1978), Chang et al. (1983), Wei et al. (1985) e Marciano (2001), cujos resultados de condutividade hidráulica demonstraram não haver efeito significativo dos tratamentos para os potenciais próximos à saturação e sua redução à medida que o solo se afasta da saturação. Nos potenciais -3 e -6 kPa, não houve diferença significativa da condutividade hidráulica entre os tratamentos, confirmando dados obtidos por Gupta et al. (1977).

Verificou-se maior condutividade hidráulica para os potenciais 0 e -1 kPa, quando utilizado o lodo de esgoto, menor para os potenciais -3 e -6 kPa para as mesmas parcelas. Esses resultados de condutividade hidráulica obtidos podem estar refletindo o fato de existir melhor agregação do solo (maior DMP, maior DMG e mais de 87 % de IEA) (Quadro 2), quando utilizada a dose de 12 Mg ha⁻¹. Portanto, uma macroporosidade com poros maiores de 150 µm parece existir nesse solo, influenciando positivamente a infiltração da água para os potenciais 0 e -1 kPa.

Segundo Epstein (1975), o aumento da estabilidade de agregados do solo influi na infiltração de água, além do fato de a matéria orgânica e os cátions presentes (Ca²⁺ e Al³⁺ dentre outros) no lodo de esgoto influenciarem a agregação de partículas do solo e determinarem o aumento do seu volume (Melo & Marques, 2000). Em solo submetido a outros potenciais (-3 e -6 kPa), a movimentação de água, em uma porosidade menor que 150 µm, fica limitada, dificultando, assim, a condutividade da água (Lue-Hing et al., 1992; Logan & Harrison, 1995; Barbosa et al., 2002).

Vale ainda ressaltar que, na avaliação em campo com infiltrômetro de sucção controlada para as parcelas que receberam mais de 12 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto, foi observada repelência da água na superfície, dificultando sua infiltração. Este fenômeno foi comprovado por Constantini et al. (1995) e Marciano et al. (2001) e, segundo os primeiros autores, esta repelência diminuiu a taxa de infiltração inicial na superfície do solo, fato que contribuiu, provavelmente, para a redução da condutividade hidráulica nos tratamentos com 18, 24 e 36 Mg ha⁻¹.

CONCLUSÃO

1. Verificou-se que a dose de 12 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto aumentou a condutividade hidráulica nos potenciais 0 e -1 kPa, respectivamente.

LITERATURA CITADA

- ANDREOLI, C.V. Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura e sua influência em características ambientais no agrossistema. Curitiba, Universidade Estadual do Paraná, 1999. 278p. (Tese de Doutorado)
- ANDREOLI, C.V. & PEGORINI, E.S. Gestão pública do uso agrícola do lodo de esgoto. In: Impacto ambiental do uso do lodo de esgoto. Jaguariúna, EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p.281-312.
- ANKENY, M.D.; AHMED, M.; KASPAR, T.C. & HORTON, R. Simple field method for determining unsaturated hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 55:470-476, 1991.
- BARBOSA, G.M.C.; TAVARES FILHO, J. & FONSECA, I.C.B. Avaliações das propriedades físicas em Latossolo Vermelho eutroférrico tratado com lodo de esgoto por dois anos consecutivos. *Sanare*, 17:94-101, 2002.
- BATAGLIA, O.C.; BERTON, R.S.; CAMARGO, A.O. & VALADARES, J.M.A.S. Resíduos orgânicos como fontes de nitrogênio para capim-braquiária. *R. Bras. Ci. Solo*, 7:277-284, 1983.
- BERNARDES, L.F. Efeitos da aplicação do lodo de esgoto nas propriedades físicas do solo. Jaboticabal, Universidade Estadual de São Paulo, 1982. 50p. (Tese de Mestrado)
- BONNET, B.R.P. Diagnóstico da situação e posição preliminar de sistema de monitoragem dos impactos ambientais causados pelo uso agrícola do lodo de esgoto no Paraná. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 1995. Não publicado.
- CARVALHO, P.C. & BARRAL, M. F. Aplicação do lodo de esgoto como fertilizante. *Fertilizantes*, 3:3-5, 1981.
- CHANG, A.C.; PAGE, A.L. & VARNEKE, J.E. Soil conditioning effects of municipal sludge compost. *J. Environ. Eng.*, 109:574-583, 1983.
- 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 plantations in Queensland. *Aust. J. Soil Res.*, 33:1041-1052, 1995.
- EPSTEIN, E. Effect of sewage sludge on some soil physical properties. *J Environ. Qual.*, 5:422-426, 1975.
- GUPTA, S.C.; DOWDY, R.H. & LARSON, W.E. Hydraulic and thermal properties of a sandy soil as influenced by incorporation of sewage sludge. *Soil Sci Soc. Am. J.*, 41:601-605, 1977.
- HOFFMANN, R. & VIEIRA, S. Análise de regressão: Uma condução à econometria. 2.ed. São Paulo, HUCITEC, 1983.

- 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.
- KLADIVKO, E.J. & NELSON, D.W. Changes in soil properties from application of anaerobic sludge. *J. Water Poll.*, 51:325-332, 1979.
- LOGAN, T.J. & HARRISON, B.J. Physical characteristics of alkaline stabilized sewage sludge (N - Viro Soil) and their effects on soil physical properties. *J. Environ. Qual.*, 24:153-164, 1995.
- LUDUVICE, M. Experiência da Companhia de Saneamento do Distrito Federal na reciclagem agrícola de biossólido. In: *Impacto ambiental do uso do lodo de esgoto. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p.153-162.*
- LUE-HING, C.; ZENZ, D.R. & KUCHENRITHER. Municipal sewage sludge management: processing, utilization and disposal. *Water Qual. Manag.*, 4:455-500, 1992.
- MARCIANO, C.R. Incorporação de resíduos urbanos e as propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho-Amarelo. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1999. 93p. (Tese de Doutorado)
- 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.
- MAZURAK, A.P.; CHESNIN, L. & TIARKS, E. Detachment of soil aggregation by simulated from heavily manured soils in Eastern Nebraska. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 30:732-736, 1975.
- MELO, W.J. & MARQUES, M.O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutriente para as plantas. In: *Impacto ambiental do uso do lodo de esgoto. Jaguariúna, EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p.109-141.*
- MOREL, J.L.; GUCKERT, A. & SEGODO, M. Effects de l'épandage des boues résiduaires urbaines sur l'état physique du sol. *Bull. Ensaia*, 20:13-19, 1978.
- OUTWATER, A.B. Reuse of sludge and minor wastewater residuals. [S.l.], Lewis Publishers, 1994. 179p.
- TSUTYA, M.T. Alternativas de disposição final de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos. In: *Impacto ambiental do uso do lodo de esgoto. Jaguariúna, EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p.69-105.*
- WEI, Q.F.; LOWERY, B. & PETERSON, A.E. Effect of sludge application on physical properties of a silty clay loam soil. *J. Environ. Qual.*, 14:178-180, 1985.
- WISNIEWSKI, C. NETO, J.A. & PEREIRA, A.M. Uso do lodo de esgoto da ETE - Belém na recuperação de áreas degradadas por mineração de calcário. *Sanare*, 5:76-86, 1996.

