



Efeito do uso sucessivo de lodo de esgoto na fertilidade de solos cultivados com cafeeiro⁽¹⁾

Alisson Lucrecio da Costa⁽²⁾, Ciro Augusto de Souza Magalhães⁽³⁾, Carlos Alberto Silva⁽⁴⁾ e José Maria de Lima⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da CAPES, CNPq, FAPEMIG e INCT-CAFÉ; ⁽²⁾ Professor; Instituto Federal Goiano – IF Goiano; Iporá, GO; alisson.lucrecio@ifgoiano.edu.br ⁽³⁾ Pesquisador; Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA Agrossilvipastoril; ⁽⁴⁾ Professor; Universidade Federal de Lavras – UFLA.

RESUMO: O lodo de esgoto é um resíduo de estações de tratamento de esgoto, e que tem característica de adubo orgânico. Esse resíduo vem sendo utilizado em áreas de produção de milho, soja, feijão, cana-de-açúcar e café, com benefícios de ciclagem dos nutrientes e melhorias em atributos do solo, por meio da adição de matéria orgânica. Assim, o objetivo deste trabalho, foi avaliar o efeito do uso sucessivo de lodo de esgoto na fertilidade de Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, Latossolo Vermelho distroférico e Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico, cultivados com cafeeiro. O experimento foi realizado em um conjunto de lisímetros contendo material indeformado dos solos mencionados. As aplicações de doses de lodo de esgoto, em ambos os anos, diminuíram o pH, saturação por bases e teores de magnésio e potássio, e aumentaram a capacidade de troca de cátions e nos teores de fósforo, alumínio, cobre, ferro, zinco e carbono orgânico dos solos.

Termos de indexação: Resíduos orgânicos; Carbono Orgânico; Nutrientes.

INTRODUÇÃO

A utilização do lodo de esgoto como adubo orgânico, propicia a reciclagem de nutrientes presentes no mesmo e a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, além de representar benefícios de ordem ambiental, econômica e mesmo social, pela disposição final menos impactante desse resíduo no ambiente.

Diversos trabalhos têm mostrado aumento no pH do solo (Silva et al., 2001), nos teores de carbono orgânico, potássio (Nascimento et al., 2004; Simonete et al., 2003), fósforo, cálcio (Nascimento et al., 2004; Silva et al., 2001; Simonete et al., 2003), magnésio (Nascimento et al., 2004; Simonete et al., 2003), alumínio (Simonete et al., 2003), cobre, ferro, manganês e zinco (Nascimento et al., 2004) e na capacidade de troca catiônica efetiva (t) (Silva et al., 2001), capacidade de troca catiônica a pH 7 (T) (Nascimento et al., 2004) e saturação por bases (V) (Silva et al., 2001).

Os aumentos nos teores de carbono orgânico, e nutrientes pH, t, T e V do solo, em decorrência da

aplicação de lodo de esgoto, variam de acordo com os solos, composição química, grau de maturação, quantidade aplicada e taxa de mineralização dos resíduos.

Em geral, o lodo de esgoto interage com o solo nos seguintes modos: aumenta a capacidade de troca de cátions do solo, altera o pH e influencia na taxa de mineralização da matéria orgânica, com consequências sobre a disponibilidade dos nutrientes. Além disso, esse resíduo possui nutrientes na sua composição; deste modo, pode também resultar em maior disponibilidade no solo.

Assim, o objetivo deste estudo, foi avaliar o efeito do uso sucessivo de lodo de esgoto na fertilidade de Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, Latossolo Vermelho distroférico e Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico cultivados com cafeeiro.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em um conjunto de 36 lisímetros de drenagem, com 0,9 m de profundidade e 1 m de diâmetro, entre os anos de 2009 e 2013. Os lisímetros contêm material com estrutura indeformada de Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVAd), Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) e Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico (PVAd). A granulometria dos solos na camada de 0-20 cm foi determinada pelo método da pipeta (Donagema et al., 2011) e os teores de argila, silte e areia, respectivamente, foram: 592, 48, 360 g kg⁻¹, para o LVAd, 677, 91 e 232 g kg⁻¹, para o LVdf, e 330, 203 e 467 g kg⁻¹, para o PVAd.

O transplântio das mudas do cafeeiro foi no final de dezembro de 2009. Antes do plantio do cafeeiro, amostras de solo foram coletadas, na camada de 0-20 cm para as análises de fertilidade (Silva, 2009). Os resultados dessas análises encontram-se na Tabela 1. Calagem e fosfatagem corretiva foram realizadas baseadas nos resultados das análises químicas, em todos os lisímetros.

Tratamentos e amostragens

As doses de lodo de esgoto foram determinadas de acordo com o teor de nitrogênio total (N), amônio (NH₄⁺) e nitrato (NO₃⁻) presentes no resíduo, e a



necessidade de nitrogênio do cafeeiro. A dose D3 corresponde a exigência total de N para cultura, e as doses D0, D1 e D2 foram, respectivamente, 0, $\frac{1}{4}$ e $\frac{1}{2}$ da dose D3. O lodo de esgoto foi aplicado sete meses antes do transplântio das mudas do cafeeiro "Mundo Novo 379/19" (primeira aplicação), nas doses de 0, 11, 22 e 44 Mg ha⁻¹; quatro meses após o transplântio das mudas do cafeeiro (segunda aplicação), o lodo foi reaplicado nas doses de 0, 8, 16 e 32 Mg ha⁻¹ e, no 1º e 2º ano pós plantio (terceira e quarta aplicação), nas doses de 0, 15, 31 e 61 Mg ha⁻¹. As aplicações do lodo de esgoto foram em 15 de maio de 2009, 16 de abril de 2010, 14 de abril de 2011 e 28 de abril de 2012, respectivamente.

O lodo de esgoto foi proveniente da Estação de Tratamento de Jundiaí, SP, que recebe, predominantemente, esgotos domésticos. Esse material passou por um processo de compostagem, com aproximadamente 90 dias de duração e apresentava teores de N = 22,3; P = 4,0; K = 4,0; Ca = 23,4; Mg = 1,9; S = 6,2; Na = 2,0; Fe = 11,1; Zn = 1,3 g kg⁻¹ e Al = 11,5; B = 4,3; Cu = 175; Mn = 247 mg kg⁻¹, carbono orgânico (CO) = 226 g kg⁻¹ e pH em água de 5,5, conforme Higashikawa, Silva e Bettiol (2010).

O lodo de esgoto foi distribuído em área total na superfície do solo de cada coluna e incorporado nos primeiros 10 cm, evitando-se o revolvimento do solo nas camadas mais profundas. Considerando-se o teor de N encontrado no lodo e 28% de taxa de mineralização de N em kg ha⁻¹ no primeiro ano após a aplicação (Chiradia et al., 2009), a quantidade de N potencialmente mineralizável em um ano equivale a 6,26 x dose de lodo de esgoto em Mg ha⁻¹. A quantidade de K₂O em kg ha⁻¹ fornecida pelo lodo de esgoto é igual a 4,23 x dose de lodo de esgoto em Mg ha⁻¹. Sulfato de amônio e cloreto de potássio foram adicionadas em cada lisímetro para atender à exigência da cultura quando os nutrientes N e K não era completamente suprido pelo lodo de esgoto.

Amostras dos solos foram retiradas em 7 de março de 2011 e 16 dezembro de 2013, na camada de 0-10 cm para a determinação de pH em água, Ca, Mg e Al pelo extrator KCl 1 mol L⁻¹, carbono orgânico total (CO) pelo método de oxidação a CO₂ por dicromato, em meio sulfúrico (Walkley-Black); P, K, Cu, Fe, Mn e Zn foram extraídos pelo extrator Mehlich 1 (Silva, 2009). Com os resultados obtidos nas análises do complexo sortivo, foram calculadas a capacidade de troca catiônica efetiva (t), a capacidade de troca catiônica a pH 7 (T) e a saturação por bases (V).

Análise estatística

Para analisar os efeitos dos solos, das doses de lodo de esgoto e as inter-relações entre as variáveis, os resultados de pH, Ca, Mg, Al, t, T, V, CO, P, K, Cu, Fe, Mn e Zn dos solos foram submetidos à análise de escalonamento multidimensional métrico (MDS). A matriz de distância foi calculada usando o Índice Euclidiano a partir dos resultados de fertilidade do solo em escala. A MDS parte de uma configuração inicial de pontos (subpopulações) alocados ao acaso em um número reduzido de dimensões, normalmente, 2-D ou 3-D. Com base nesta distribuição inicial, são calculadas novas distâncias, que são comparadas às originais e, mediante procedimento iterativo, as diferenças entre essas matrizes são minimizadas com o uso de estatística denominada stress (S). Quanto mais próximo de zero for o valor de S, menor a distorção, portanto, melhor a representação das distâncias. Assim, a MDS arranja objetos (nesse caso, repetições, solos e doses) num espaço com um número reduzido de dimensões, 2-D, de modo a reproduzir as distâncias observadas. Posteriormente, essa nova matriz de distância foi usada para organizar os solos e as doses de lodo de esgoto em um plano bidimensional. Todas as análises foram realizadas no ambiente de programação R 3.0.2 (R Development Core Team, 2014), utilizando os pacotes vegan, arm e ggplot2.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de escalonamento multidimensional métrico (MDS) apresentou um valor de estresse aceitável de 0,120 e 0,119, em 2011 e 2013, respectivamente, tornando possível distinguir entre os solos e as doses de lodo de esgoto, conforme pode ser observado nas Figuras 1 e 2.

Em 2011 e 2013, o eixo horizontal (MDS1) apresentou uma relação maior com as doses de lodo de esgoto. É possível perceber um gradiente de dissimilaridade que aumenta em razão da dose do resíduo. Em 2011, o eixo vertical (MDS2) exibe um maior vínculo com os solos, possibilitando ver que esses apresentam uma maior separação na dose D1 e que essa separação diminui de acordo com que se aumenta a dose de lodo de esgoto, em 2013, essa separação não ocorreu.

A estrutura da MSD, que indica certa correlação das variáveis originais e as MDS1 e MDS2 é representada pela direção, sentido e comprimento das setas apresentadas no biplot. Dessa forma, é possível observar que, em 2011 e 2013, as doses de lodo de esgoto diminuíram o pH, teor de K e Mg e V e aumentaram os teores de CO, P, Al, Fe, Cu e Zn e a T dos solos. Além disso, em 2013, as doses



de lodo de esgoto também diminuíram o teor de Ca dos solos. Em 2011, o solo LVAd sem lodo de esgoto apresentou alta dissimilaridade quanto ao PVAd e LVdf, principalmente, quanto ao pH, V, t e teores de Ca, Mg, Mn, Zn e Al. Já em 2013, os solos sem lodo de esgoto apresentam baixa dissimilaridade entre si.

Alguns trabalhos têm constatado diminuição do pH do solo com adição de lodo de esgoto (Galdos et al., 2004; Nascimento et al., 2004; Simonete et al., 2003). Esses autores atribuíram a redução no pH pela aplicação de lodo de esgoto, à acidificação, às reações de nitrificação e à produção de ácidos orgânicos durante a degradação do resíduo. A redução no pH pela dose de lodo de esgoto provocou um aumento no teor de Al trocável.

A redução na V com as doses de lodo de esgoto foi pelo efeito de diluição. A exceção do Ca, o fornecimento de Mg e K pelo composto são pequenos, os quais compõem a soma de base. Já a T aumentou com as doses de lodo de esgoto, o que contribuiu para provocar uma redução na V.

O aumento da T com as doses de lodo de esgoto foi devido ao aumento do CO. Esses resultados observados no presente trabalho são concordantes com os verificados por Epstein et al. (1976), Simeoni et al. (1984) e Cavallaro et al. (1993).

O aumento do teor de Cu e Zn foram proporcional as doses de lodo de esgoto. Já o aumento no teor de Fe foi relativamente menor ao esperado, mostrando haver formas de Fe no lodo de baixa disponibilidade, como, por exemplo, óxidos de ferro.

CONCLUSÕES

As aplicações de doses de lodo de esgoto, promoveram, em ambos os anos, diminuição do pH, da saturação por bases e dos teores de magnésio e potássio e aumento na CTC potencial e nos teores de fósforo, alumínio, cobre, ferro, zinco e carbono orgânico dos solos.

A utilização de lodo de esgoto nos solos agrícolas deve ser cuidadosa, pois, esse melhora atributos fundamentais da fertilidade, como CTC e carbono orgânico, mas também diminui o pH e eleva o alumínio a níveis prejudiciais.

AGRADECIMENTOS

À CAPES, CNPq, FAPEMIG e INCT-CAFÉ, pelo suporte financeiro concedido ao projeto, e a bolsa do doutorado concedida ao primeiro autor deste trabalho, e à Opersan Serviços Ambientais, pelo fornecimento do lodo de esgoto.

REFERÊNCIAS

- CAVALLARO, N.; PADILLA, N.; VILLARRUBIA, J. Sewage sludge effects on chemical properties of acid soils. *Soil Science*, 156:63-70, 1993.
- CHIARADIA, J. J. et al. Produtividade e nutrição de mamona cultivada em área de reforma de canavial tratada com lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33:701-709, 2009.
- DONAGEMA, G. K. et al. (Org.). Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2011. 230p.
- EPSTEIN, E.; TAYLOR, J. M.; CHANCY, R. L. Effects of sewage sludge and sludge compost applied to soil on some soil physical and chemical properties 1. *Journal of Environmental Quality*, 5:422-426, 1976.
- GALDOS, M. V.; MARIA, I. C.; CAMARGO, O. A. Atributos químicos e produção de milho em um latossolo vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28:569-577, 2004.
- HIGASHIKAWA, F. S.; SILVA, C. A.; BETTIOL, W. Chemical and physical properties of organic residues. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34:1742-1752, 2010.
- NASCIMENTO, C. W. A. et al. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28:385-392, 2004.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2014. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 1 dez. 2014.
- SILVA, F. C. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2009. 627p.
- SILVA, F. C. et al. Efeito de lodo de esgoto na fertilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 36:831-840, 2001.
- SIMEONI, L. A.; BARBARICK, K. A.; SABEY, B. R. Effect of small-scale composting of sewage sludge on heavy metal availability to plants. *Journal Environmental Quality*, 13:264-268, 1984.
- SIMONETE, M. A. et al. Efeito do lodo de esgoto em um Argissolo e no crescimento e nutrição de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 38:1195, 2003.

Tabela 1 - Principais atributos químicos da camada de 0-20 cm dos solos utilizados no experimento.

Solo	pH água	Ca	Mg	Al	t ¹	T ²	V ³	CO ⁴	P	K	Cu	Fe	Mn	Zn
		----- cmol _c dm ⁻³ -----					%	g dm ⁻³		----- mg dm ⁻³ -----				
LVA ⁵	5,5	1,8	0,3	0,2	2,5	5,5	41,8	10,2	0,8	70	1,5	96,0	24,0	4,0
LVdf ⁶	5,5	1,3	0,3	0,1	1,8	6,0	28,8	11,6	2,2	43	2,7	47,0	9,6	4,8
PVAd ⁷	4,8	0,2	0,1	1,1	1,5	8,3	4,8	11,6	1,1	23	0,7	72,0	7,6	4,2

¹Capacidade de troca de catiônica efetiva; ²Capacidade de troca catiônica a pH 7,0; ³Índice de saturação por bases; ⁴Carbono orgânico; ⁵Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico; ⁶Latossolo Vermelho distroférrico; ⁷Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico.

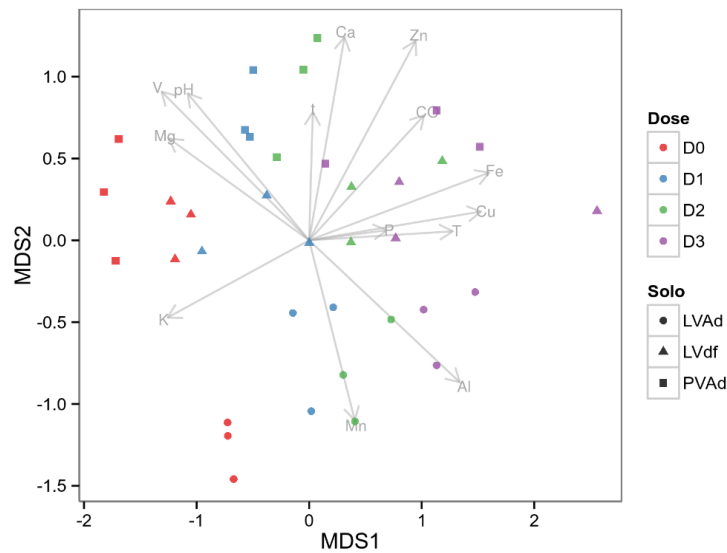


Figura 1 - Análise de análise escalonamento multidimensional métrico de pH, Ca, Mg, Al, t, T, V, CO, P, K, Cu, Fe, Mn e Zn nos solos cultivados com cafeeiro, sob efeito do uso sucessivo de lodo de esgoto, em 2011.

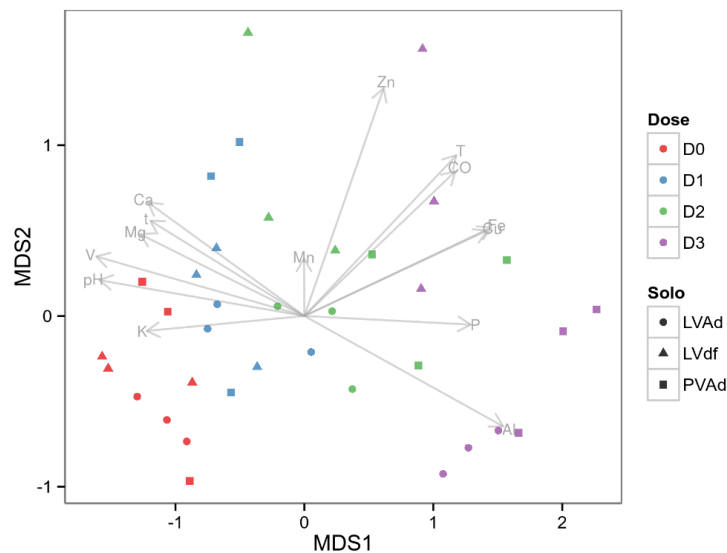


Figura 2 - Análise de análise escalonamento multidimensional métrico de pH, Ca, Mg, Al, t, T, V, CO, P, K, Cu, Fe, Mn e Zn nos solos cultivados com cafeeiro, sob efeito do uso sucessivo de lodo de esgoto, em 2013.