

Potencial de uso de lodo de esgoto na cultura do milho em latossolo argiloso no oeste do Paraná

Potencial use of sewage sludge on the corn culture in an oxisol in Paraná's western

RESUMO

O lodo de esgoto é um subproduto resultante do tratamento de esgotos que contém elevado teor de matéria orgânica e se, devidamente aplicado, pode conferir ao solo melhorias em relação a sua fertilidade. Este trabalho teve por objetivo avaliar o uso do lodo de esgoto como fertilizante na cultura do milho, em Latossolo Vermelho Distroférrico. O experimento foi realizado em campo, em delineamento em blocos ao acaso, com 6 tratamentos e 4 repetições: a) Adubação convencional; b) Testemunha; c) 2,5; d) 5; e) 10 e f) 15 t.ha⁻¹ do lodo em base seca. Observou-se que a adição de Cu e Zn via lodo contribuiu com pequeno incremento nos teores destes metais no solo, em função da baixa concentração destes metais no resíduo, bem como das baixas dosagens aplicadas. Quanto aos parâmetros de desenvolvimento do milho, os melhores resultados foram obtidos nos tratamentos com aplicação de lodo, sendo as maiores respostas obtidas com a dose de 15 t.ha⁻¹. Concluiu-se que o uso deste subproduto como fonte de nutrientes em culturas como alternativa aos fertilizantes industrializados, é uma opção interessante e viável do ponto de vista econômico e ambiental.

PALAVRAS-CHAVE: Biossólido, desinfecção, produtividade, reaproveitamento de resíduos

ABSTRACT

The sewage sludge is a by-product resulting of the sewage treatment that contains high organic matter concentration and that, properly applied, it can to supply improvements in the soil fertility. The objective of this study was to evaluate the sewage sludge agricultural potential. The field experiment was in a randomized blocks with 6 treatments and four replications: a) mineral fertilizer, b) Control (without fertilization and without sewage sludge), c) 2,5, d) 5, e) 10 and f) 15 t.ha⁻¹ of dry sludge. It was observed that the addition of Copper and Zinc through biossolid contributed with small increment in the tenors of these in the soil in function of the concentration of the elements in the residue as well as the low amounts applied. Regarding the parameters of maize development (productivity, length and diameter of spikes), the best results were obtained in treatments that used the sludge, and the highest answers obtained with a dose of 15 t.ha⁻¹ of sludge. Possession of all the results, we conclude that the use of this residue as a source of nutrients in crops as an alternative to industrial fertilizers, is an interesting and viable option economically and environmentally.

KEYWORDS: Biosolid, disinfection, productivity, reuse of wastes.

Roseli Regina Rambo Bremm
Engenheira Química, mestre em Engenharia Agrícola. Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Cascavel/PR
roseli@lorenz.com.br

Simone Gomes Damasceno
Engenheira Agrônoma, Professora da área de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (RHESA), UNIOESTE, Cascavel/PR
simone.gomes@unioeste.br

Deonir Secco
Agrônomo, Professor do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE, Cascavel/PR
deonir@unioeste.br

Márcio Antônio Vilas Boas
Engenheiro Agrícola, Professor Associado da área de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, UNIOESTE, Cascavel/PR
marcio.vilasboas@unioeste.br

Douglas Guedes B. Torres
Engenheiro Agrícola, Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, UNIOESTE, Cascavel/PR
douglasgbtorres@hotmail.com

Juliana Bortoli Rodrigues Mees
Tecnóloga Ambiental, Professora da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Medianeira/PR
juliana@utfpr.edu.br

Larissa Kummer
Tecnóloga em Química Ambiental, Professora da UTFPR, Francisco Beltrão/PR
lkummer@utfpr.edu.br

INTRODUÇÃO

A água é um dos recursos naturais mais importantes para a saúde, bem estar da comunidade e desenvolvimento econômico e social, porém, uma vez fornecida à população, grande parcela transforma-se em esgoto, que se lançado diretamente em cursos d'água, provoca sua degradação com consequências na saúde da população.

A geração de lodo de esgoto nas estações de tratamento vem aumentando consideravelmente nos últimos anos, devido ao aumento dos domicílios com acesso à rede de esgoto. Segundo dados do IBGE (2008), estes números aumentaram de 33,5% em 2000 para 44% em 2008. Além disso, a taxa de esgoto recolhido e realmente tratado passou de 35,3% para 68,8%, neste mesmo período.

O lodo de esgoto é considerado resíduo sólido de composição variável, contendo de 40 a 80% de matéria orgânica (ANDREOLI et al., 1999; TSUTIYA, 2001). Esse resíduo, quando devidamente higienizado e com teores baixos de metais pesados, recebe a denominação de biossólido (GONÇALVES, 2005). Seu destino final é preocupação mundial, uma vez que, se disposto inadequadamente, pode prejudicar o solo e os recursos hídricos, alterando suas características físicas, químicas e biológicas (GOMES et al., 2007; AHUMADA et al., 2009). Além disso, também se constitui em ameaça à saúde pública.

De acordo com ANDREOLI et al. (1999), conforme o tipo de tratamento deste esgoto, a geração de lodo pode representar de 0,25 a 1,5% do total de esgoto tratado. Sendo assim, devido aos problemas decorrentes do aumento da produção de lodo de esgoto e os benefícios deste insumo para o solo, quando disposto de forma ambientalmente correta, muitas pesquisas têm sido realizadas de forma a avaliar os efeitos do uso de

lodo na agricultura (MIRANDA & BISCAIA, 1996; LOURENÇO et al., 1996; AHUMADA et al., 2009; MONTE SERRAT et al., 2011). O uso agrícola do lodo de esgoto como adubo orgânico é considerado uma alternativa promissora de disposição final desse resíduo (CAMPOS & ALVES, 2008).

A aplicação do lodo no solo pode resultar em melhoria do estado de agregação das partículas, com consequente diminuição da densidade e aumento na aeração e capacidade de infiltração e retenção de água no solo (TSUTIYA, 2001; NASCIMENTO et al., 2004; DE MARIA et al., 2007). Devido aos teores de nitrogênio (N) e fósforo (P), pode proporcionar ainda um aumento na produção de matéria seca das plantas (BARBOSA et al., 2003; NASCIMENTO et al., 2004; GOMES et al., 2007).

Ao avaliar o efeito da utilização do lodo de esgoto na cultura do milho, tanto LOURENÇO et al. (1996) quanto MIRANDA & BISCAIA (1996) observaram que o aumento da dosagem de lodo resultou em aumento da produtividade, sendo recomendado por LOURENÇO et al. (1996), a partir de análise de regressão, uma dosagem de 66 t.ha⁻¹.

BREDA (2003), utilizando 0, 10, 20, 30 e 40 t.ha⁻¹ de lodo de esgoto e adubação convencional, em Nitossolo Vermelho Distroférico, notou que a aplicação de doses crescentes de lodo proporcionou aumentos de altura, diâmetro de colmo e número de folhas em plantas de milho, quando comparadas com a testemunha e adubação convencional. Em relação à produtividade, os maiores valores foram obtidos com o tratamento que empregou 10 t.ha⁻¹, sendo a média 3,83% superior ao tratamento que empregou adubação convencional.

Neste contexto observa-se que o lodo de esgoto tem sido utilizado como fertilizante na produção de várias culturas, dentre elas o milho, mostrando resultados

positivos da aplicação do material (MIRANDA & BISCAIA, 1996).

Com base no exposto, este trabalho teve por objetivo avaliar o efeito sobre o solo e potencial agrícola da aplicação de diferentes doses de lodo de esgoto estabilizado com cal, aplicado à cultura do milho, em Latossolo Vermelho Distroférico típico.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Núcleo Experimental de Engenharia Agrícola (NEEA) pertencente à Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Campus de Cascavel. O clima do local é do tipo subtropical úmido (Cfa), segundo classificação de Köppen. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico típico, com relevo suave a ondulado e textura argilosa a muito argilosa, substrato basalto. As frações granulométricas presentes no solo da área experimental foram de 12,6% areia, 19,5% silte e 67,9% argila. O lodo utilizado foi obtido em Estação de Tratamento de Esgoto, localizada na região Oeste do Paraná, sendo proveniente do reator anaeróbico de leite fluidizado (RALF). O lodo foi tratado com cal virgem a 50%, de acordo com as recomendações de ILHENFELD et al. (1999). Foram realizadas análises químicas e de metais pesados nas amostras de lodo e solo, sendo estas últimas coletadas na camada de 0,2 m. Foram utilizados 6 tratamentos com 4 repetições cada, assim definidos: T.C: Testemunha (sem adubação convencional e sem lodo); A.C: Adubação Convencional em cobertura (NPK 8-18-28, na dosagem de 300 kg.ha⁻¹); 2,5: 2,5 t.ha⁻¹ de lodo base seca; 5: 5 t.ha⁻¹ de lodo base seca; 10: 10 t.ha⁻¹ de lodo base seca e 15: 15 t.ha⁻¹ de lodo base seca.

Na Tabela 1 encontram-se os valores dos atributos químicos determinados nas amostras de lodo e de solo.

Tabela 1 – Atributos químicos das amostras de lodo e solo utilizadas nos experimentos, antes da aplicação dos tratamentos em Latossolo Vermelho Distroférrico típico.

	P	MO	H+Al	Al ⁺³	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	SB	CTC	V	Cu	Zn
	----- g.dm ⁻³ ---			----- cmol _c .dm ⁻³ -----						%	mg kg ⁻¹ , MS	
Lodo	0,450	65,62	3,13	31,92	12,8	0,19	30,16	7,04	37,39	69,31	25,5	147,23
Solo	0,016	29,39	4,6	11,26	0,3	0,83	6,39	1,81	9,03	20,29	3,22	299,4

MO: Matéria Orgânica; SB: Soma de Bases; CTC: Capacidade de Troca de Cátions; V: Saturação por Bases; MS: matéria seca

Tabela 2 - Valores médios de metais (Cu e Zn) adicionados ao solo por meio da aplicação de lodo em diferentes doses.

Elemento	Dose aplicada			
	2,5 t.ha ⁻¹	5 t.ha ⁻¹	10 t.ha ⁻¹	15 t.ha ⁻¹
Cu (kg)	0,368	0,736	1,472	2,208
Zn (kg)	0,354	0,708	1,416	2,124

A Tabela 2 apresenta os valores médios de metais adicionados ao solo em cada um dos tratamentos, sendo estes dados calculados com base nos teores dos metais no lodo e a respectiva dose aplicada.

O delineamento experimental foi configurado como blocos ao acaso com 4 repetições, totalizando 24 parcelas de 3,2 m x 5 m, com espaçamento entre parcelas de 1,0 m e entre blocos de 7,3 m. Para cada parcela foram cultivadas 4 linhas de milho, com um espaçamento entre plantas de 0,20 m e entre linhas de 0,80 m. Utilizou-se como bordadura as duas linhas laterais e 1,0 m das extremidades da unidade experimental, sendo assim, duas linhas centrais foram utilizadas, totalizando em média 30 plantas úteis por parcela. A incorporação do biossólido foi efetuada com auxílio de grade niveladora, sendo a semeadura realizada no mesmo dia. Ao final do ciclo da cultura, no dia da colheita, foram coletadas amostras de solo para caracterização do mesmo ao término do experimento. Os parâmetros de produtividade da cultura avaliados foram: produção de grãos, comprimento e diâmetro das espigas. A produção de grãos foi avaliada pela massa de grãos gerada após o debulhamento das espigas. Já o comprimento das espigas foi

avaliado com auxílio de uma trena, sendo medido de uma base até a outra. Para o diâmetro das espigas também utilizou-se a trena, medindo-se o perímetro no centro da espiga e a partir deste valor chegou-se ao diâmetro. Os dados foram submetidos inicialmente à análise de normalidade e os dados que não apresentaram normalidade foram submetidos à transformação de Box e Cox. A análise de variância foi realizada ao nível de 5% de significância, aplicando o teste de Tukey para comparação de médias. Para os níveis da variável quantitativa, doses de lodo de esgoto, foram calculadas equações de regressão polinomial, obtendo-se as médias ajustadas pelo modelo quadrático, para os parâmetros comprimento e diâmetro das espigas e produção de grãos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados das análises químicas dos solos de cada tratamento, após a colheita do milho.

Para o teor de P observa-se que não houve diferença estatística entre as médias dos tratamentos. Neste experimento, é possível que o efeito da adição de cal sobre o lodo tenha influenciado na

disponibilidade de P, uma vez que o aumento do pH reduz a disponibilidade deste elemento no solo, bem como de nitrogênio, enxofre e boro (MALAVOLTA, 1976; MARQUES et al., 2003). SOUSA et al. (2006)

observaram que os teores de fósforo assimilável em um Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico após a aplicação de água residuária de estação de tratamento de esgoto também diminuíram. Já vários autores observaram influência positiva do biossólido sobre o teor de P no solo (ANDRADE & MATTIAZZO, 2000; SILVA et al., 2001; BREDÁ, 2003; NASCIMENTO et al., 2004).

Em relação ao teor de carbono (C), observa-se que houve uma redução em relação ao teor inicialmente presente no solo (Tabela 1) para todos os tratamentos. Tal observação foi semelhante à apresentada por MIRANDA & BISCAIA (1996), que em aplicação única de lodo de esgoto, não observaram aumento expressivo no teor de matéria orgânica (MO) do solo, ao término do experimento, mesmo utilizando 60 t.ha⁻¹ de lodo.

Já os autores ANDRADE & MATTIAZZO (2000), SIMONETE & KIEHL (2002), BREDÁ (2003) e BORGES & COUTINHO (2004) observaram aumento no teor de MO no solo, diretamente proporcional à dose de lodo aplicada, verificando que para cada 10 t.ha⁻¹ aplicados, ocorreu, em média, aumento de 2,0

Tabela 3 – Valores médios de atributos químicos do solo (Latossolo Vermelho Distroférico típico), nos diferentes tratamentos, após a colheita do milho.

Parâmetro	Tratamentos					
	Adubação Convencional	Testemunha	Dose de lodo (t.ha ⁻¹)			
			2,5	5	10	15
pH (CaCl ₂)	4,90 a	5,15 a	5,07 a	4,82 a	5,12 a	4,97 a
P (mg.dm ⁻³)	10,82 a	14,97 a	11,90 a	9,60 a	11,67 a	9,60 a
H+Al (cmol _c .dm ⁻³)	6,03 a	4,98 a	5,42 a	6,10 a	5,41 a	5,66 a
Ca ⁺² (cmol _c .dm ⁻³)	5,04 a	5,58 a	6,54 a	5,16 a	6,10 a	5,52 a
Mg ⁺² (cmol _c .dm ⁻³)	2,85 a	3,50 a	3,97 a	3,22 a	3,48 a	3,31 a
K ⁺ (cmol _c .dm ⁻³)	0,29 a	0,32 a	0,28 a	0,40 a	0,37 a	0,37 a
CTC(cmol _c .dm ⁻³)	14,59 a	14,72 a	15,68 a	15,13 a	15,32 a	15,06 a
V (%)	57,91 a	64,95 a	57,20 a	58,30 a	64,41 a	61,70 a
C (g.dm ⁻³)	18,31a	17,33 a	18,30 a	16,36 a	18,70 a	19,47 a
SB (cmol _c .dm ⁻³)	8,56 a	9,74 a	10,26 a	9,03 a	9,92 a	9,41 a

V: Saturação por Bases; Al*: Saturação por Alumínio; SB: Soma de Bases.

* Médias de tratamentos seguidas de mesma letra na linha, não diferem significativamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

g.dm⁻³. NASCIMENTO et al. (2004) também observaram expressivos aumentos nos teores de MO nos tratamentos que empregaram lodo, no entanto também verificaram aumento na testemunha, que não empregou nenhum tipo de adubação.

Em relação ao pH, apesar do lodo de esgoto ter sido estabilizado com 50% de cal virgem, não ocorreu aumento do pH do solo, devido possivelmente ao poder tampão do solo (MONTE SERRAT et al., 2011). MIRANDA & BISCAIA (1996) também observaram tal efeito, mesmo em tratamentos que empregaram 60 t.ha⁻¹. SILVA et al. (2001), SIMONETE & KIEHL (2002), BREDA (2003), NASCIMENTO et al. (2004) e BORGES & COUTINHO (2004) utilizaram lodo de esgoto bruto e observaram que o pH do solo tendeu a diminuir com o tempo, sugerindo que a nitrificação do nitrogênio amoniacal e a geração de ácidos orgânicos das reações envolvidas na degradação da carga orgânica do resíduo, tenham sido paralisadas pela acidez excessiva do meio. No entanto, apesar das variações do pH relatadas pelos autores, o pH se manteve bastante próximo do valor inicial do solo.

Para o cálcio (Ca), não foram observados aumentos devido à aplicação de lodo ao solo, o que se deve ao fato de ter-se utilizado baixas dosagens de lodo no experimento, ao contrário de MIRANDA & BISCAIA (1996), ANDRADE & MATTIAZZO (2000) e SILVA et al. (2001), que utilizaram altas dosagens de lodo de esgoto estabilizado com calcário.

Em relação ao magnésio (Mg), não se observou diferença significativa entre os tratamentos, o que está de acordo com o observado por outros autores (MIRANDA & BISCAIA, 1996; ANDRADE & MATTIAZZO, 2000; SILVA et al., 2001; BREDA, 2003 e NASCIMENTO et al., 2004).

Para o potássio (K) os teores finais presentes no solo foram menores que os valores iniciais (0,83 cmol_c.dm⁻³ - Tabela 1). Tal fato pode ser devido ao baixo teor de K presente no lodo. Este fato é confirmado, uma vez que, os tratamentos com aplicação de lodo não diferiram estatisticamente dos tratamentos sem adição de lodo. Os resultados de BREDA (2003) corroboram com os presentes, uma vez que este autor verificou teores

inferiores à metade dos observados inicialmente.

Com relação à capacidade de troca catiônica (CTC), observa-se que esta apresentou valor superior nos tratamentos que empregaram lodo, apesar de serem estatisticamente semelhantes, porém o aumento não foi proporcional ao aumento da dosagem. Segundo MELO et al. (1994) e BARBOSA et al. (2007), o lodo de esgoto promove o aumento de cargas negativas devido a sua alta concentração de MO, além de enriquecer o meio, principalmente, com os íons Ca²⁺ e Mg²⁺, fato que contribui para o aumento da CTC e saturação por bases (V %).

Tabela 4 – Conteúdos de metais pesados (Cu e Zn) presentes em cada solo após a colheita do milho proveniente dos diferentes tratamentos em Latossolo Vermelho Distroférico típico.

Tratamento	Cu	Zn
	-----mg.kg ⁻¹ MS -----	
Adubação convencional	8,70	4,40
Testemunha	9,40	2,40
2,5 t.ha ⁻¹	8,50	4,00
5,0 t.ha ⁻¹	9,50	2,50
10,0 t.ha ⁻¹	10,20	5,00
15,0 t.ha ⁻¹	9,70	3,00

MS: materia seca

Tabela 5 - Produtividades médias do milho em Latossolo Vermelho Distroférico típico, considerando os tratamentos aplicados.

Tratamento	Massa de grãos
	kg ha ⁻¹
Adubação convencional	4323,34 a
Testemunha	4358,00 a
2,5 t.ha ⁻¹	4649,33 a
5,0 t.ha ⁻¹	5470,58 a
10,0 t.ha ⁻¹	4745,32 a
15,0 t.ha ⁻¹	6131,06 a
CV (%)	17,52
DMS	1991,59

Médias de tratamentos seguidas de mesma letra na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os resultados de V% apresentaram valores inferiores aos observados inicialmente no solo, não havendo diferença significativa entre os tratamentos. BREDA (2003) encontrou aumento de V% na profundidade de 0,1 a 0,2 m e redução na profundidade de 0 a 0,1 m. SILVA et al. (2001) e SIMONETE & KIEHL (2002) observaram aumento no percentual de saturação de bases, com o aumento da dosagem de lodo. A não ocorrência do aumento de V% neste trabalho pode estar relacionada às baixas dosagens de bio-sólido empregadas no experimento.

Na Tabela 4 são apresentados os resultados dos parâmetros Cu e

Zn nas amostras de solo coletadas ao término do experimento.

Para o Cu e o Zn não se observou relação direta entre aumento da dosagem de lodo e aumento nos teores destes metais no solo. O pequeno incremento de Cu e Zn no solo se deu em função dos baixos teores destes elementos no lodo (Tabela 1), bem como às baixas dosagens de lodo empregadas no experimento em questão. Entretanto, inúmeros trabalhos têm evidenciado que altas dosagens de lodo podem trazer problemas ambientais a longo prazo, bem como absorção pela planta (SILVA et al., 2002; MARTINS et al., 2003; GOMES et al., 2007). Entre esses problemas, pode-se citar a

interação desses contaminantes nos ecossistemas e assim subsequente entrada na cadeia alimentar. Além disso, existe ainda a possibilidade de contaminação por micro-organismos patogênicos, acúmulo de metais pesados no solo ou sua potencial lixiviação e arraste para águas subterrâneas e superficiais (SOUZA et al., 2012).

Na Tabela 5 são apresentados os resultados da produtividade do milho em função da dose de lodo aplicada.

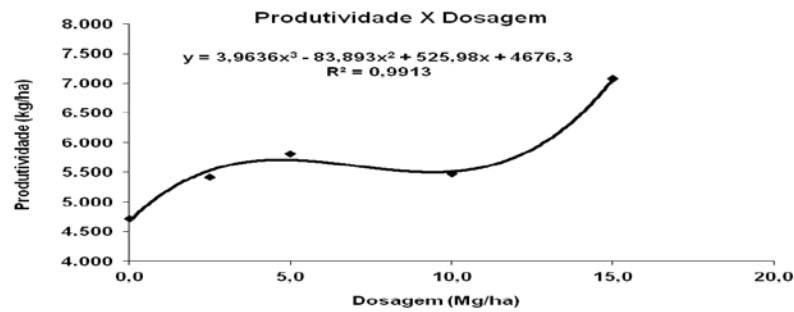


Figura 1 – Produtividade do milho em função das doses de lodo aplicadas no experimento.

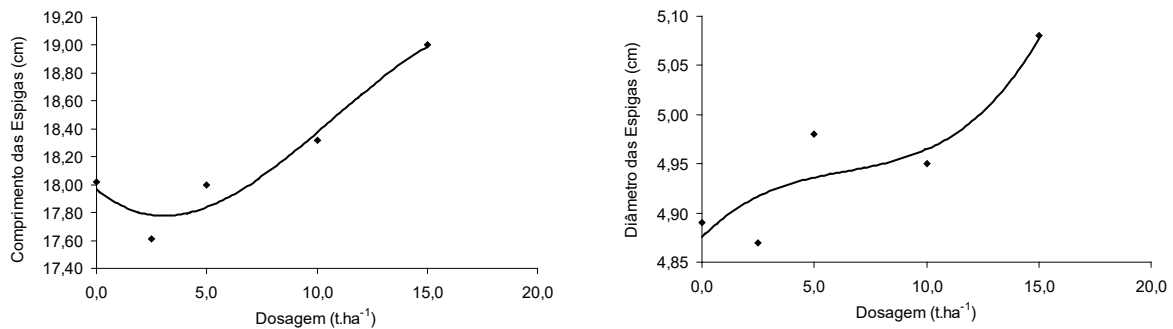


Figura 2 - Comprimento e diâmetro das espigas (cm), em função das doses de lodo aplicadas.

Observa-se que embora não tenha existido diferença significativa entre os dados de produtividade, pode-se verificar que todos os tratamentos que utilizaram lodo de esgoto apresentaram maior produtividade que a testemunha. Comparando-se a testemunha com o tratamento 15 t ha⁻¹, que demonstrou maior média, observa-se aumento de 41,81% na produção. Isto pode indicar que o lodo de esgoto pode manter uma produção satisfatória de milho sem a adição de outros insumos. Os resultados de produção de milho obtidos neste estudo, estão de acordo com LOURENÇO et al. (1996), FAVARETTO (1997) e SILVA et al. (2002).

A curva representativa da produtividade de grãos (Figura 1), considerando doses de lodo aplicadas, pode ser representada pela regressão polinomial cúbica, expressa pela equação $y = 3,9636x^3 -$

$83,893x^2 + 525,98x + 4676,3$ ($R^2 = 0,9913$).

SILVA et al. (2002) aplicando uma curva de resposta da produtividade de milho em relação a doses de lodo aplicadas em um Latossolo, determinaram a dose de 18,9 t ha⁻¹ para obtenção da máxima produtividade (6,3 t ha⁻¹ em massa seca de grãos).

A adição de lodo de esgoto ao solo promoveu uma resposta significativa para o desenvolvimento das plantas, avaliado pelo comprimento e diâmetro das espigas, que pode ser visualizada na Figura 2.

As maiores médias de comprimento e diâmetro das espigas ocorreram para a dosagem de 15 t.ha⁻¹.

As curvas representativas do comprimento e diâmetro das espigas (Figura 2), considerando doses aplicadas de lodo, podem ser representadas pela regressão

polinomial cúbica e expressas pelas equações $y = -0,0008x^3 + 0,025x^2 - 0,1309x + 17,966$ ($R^2 = 0,9424$) e $y = 0,0002x^3 - 0,003x^2 + 0,0231x + 4,8753$ ($R^2 = 0,835$), respectivamente.

Tais resultados estão de acordo com MARTINS et al. (2003), pois o lodo de esgoto é uma fonte de MO rica em N, que é um elemento de alta mobilidade no floema e que participa da molécula de clorofila, e, conseqüentemente dos processos fotossintéticos, o que resulta em crescimento das estruturas da planta. GOMES et al. (2007) também observaram aumento da concentração de diversos nutrientes nas folhas das plantas de milho com a adição de lodo. Além disso, GOMES et al. (2006) também salientam que a aplicação de lodo não proporcionou fitotoxicidade ou contaminação dos grãos de milho por nenhum dos metais estudados.

CONCLUSÕES

1. A adição de lodo de esgoto não ocasionou significativa alteração nos teores de cobre e zinco no Latossolo Vermelho Distroférico típico, visto que houve somente pequeno incremento destes metais, em função dos baixos teores destes elementos no lodo em estudo, além das baixas dosagens aplicadas nos experimentos.
2. O modelo matemático que melhor representou os parâmetros produtividade, comprimento e diâmetro de espiga em função das doses de lodo calado foi a polinomial cúbica.
3. A aplicação de lodo de esgoto na cultura do milho é uma alternativa eficiente ao método de adubação convencional, obtendo-se produtividade superior quando da adição de lodo.
4. A dosagem de 15 t.ha⁻¹ de lodo representou os melhores rendimentos quanto à produtividade, comprimento e diâmetro de espiga.

REFERÊNCIAS

- AHUMADA, I.; GUDENSCHWAGER, O.; CARRASCO, M.A.; CASTILLO, G.; ASCAR, L.; RICHTER, P. Copper and zinc bioavailabilities to ryegrass (*Lolium perenne* L.) and subterranean clover (*Trifolium subterraneum* L.) grown in biosolid treated Chilean soils. *Journal of Environmental Management*, v.90, n.8, p. 2665-2671, 2009.
- ANDRADE, C.A.; MATIAZZO, M.E. Nitratos e metais pesados no solo e nas árvores após aplicação de biossólido (lodo de esgoto) em plantações florestais de *Eucalyptus grandis*. *Scientia Forestalis*. v.58, p. 59-72, 2000.
- ANDREOLI, C.V.; FERNANDES, F.; DOMASZAK, S.C. *Reciclagem Agrícola do Lodo de Esgoto. Estudo preliminar para definição de critérios para uso agrônomo e de parâmetros para normatização ambiental e sanitária*. 2. ed. Curitiba. Companhia de Saneamento do Paraná, 1999. 81p.
- BARBOSA, G.M.C.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O.R.; FONSECA, I.C.B. Efeito residual do lodo de esgoto na produtividade do milho safrinha. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*. v.31, p. 601-605, 2007.
- BARBOSA, G.M.C.; TAVARES, J.F.; FONSECA, I.C.B. Avaliação de Propriedades Físicas de um Latossolo Vermelho Eutroférico Tratado com Lodo de Esgoto por Dois Anos Consecutivos. *Revista Sanare*. v.19, n.19, 2003.
- BORGES, M.R.; COUTINHO, E. L. M. Metais Pesados no solo após aplicação de Biossólido. II- Disponibilidade. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*. v.28, p. 557-568, 2004.
- BREDA, C.C. Utilização de lodo de efluente doméstico: efeitos na produtividade agrícola e em alguns aspectos ambientais. 2003. Tese (Doutorado em Agronomia – Área de Concentração em Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista ‘Júlio de Mesquita Filho’, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Campus de Botucatu, São Paulo, 2003.
- CAMPOS, F.S.; ALVES, M.C. Uso de lodo de esgoto na reestruturação de solo degradado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p. 1389-1397, 2008.
- DE MARIA, I.C.; KOCSSIS, M.A.; DECHEN, S.C.F. Agregação do solo em área que recebeu lodo de esgoto. *Bragantia*, v.66, p. 291-298, 2007.
- FAVARETTO, N. Efeito do lodo de esgoto na fertilidade do solo e no crescimento e produtividade do milho (*Zea mays* L.). *Brazilian Archives of Biology and Technology*, Curitiba, v.40, n.4, p.836-847, 1997.
- GOMES, S.B.V.; NASCIMENTO, C.W.A.; BIONDI, C.M. Produtividade e composição mineral de plantas de milho em solo adubado com lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.11, n.5, p.459-465, 2007.
- GOMES, S.B.V.; NASCIMENTO, C.W.A.; BIONDI, C.M.; ACCIOLY, A.M.A. Distribuição de metais pesados em plantas de milho cultivadas em Argissolo tratado com lodo de esgoto. *Ciência Rural*, v.36, p. 1689-1695, 2006.
- GONÇALVES, F.T.A. *Dinâmica do nitrogênio em solo tratado com lodo de esgoto e cultivado com café*. 2005. Dissertação (Mestrado em Gestão dos Recursos Agroambientais) – Instituto Agrônomo de Campinas, 2005.
- ILHENFELD, R.G.K.; ANDREOLI, C.V.; LARA, A.I. Riscos Associados ao Uso do Lodo de Esgoto. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB). 1ª edição. Rio de Janeiro, 1999.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. 2008. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/pressidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1691&id_pagina=1>. Acesso em 09 de agosto de 2011.
- LOURENÇO, R.S.; ANJOS, A.R.M.; MEDRADO, M.J.S. Efeito do lodo de esgoto na produtividade de milho e feijão, no sistema de produção da Bracatinga. *Revista Sanare*. v.5, n.5, p. 90-92, 1996.
- MALAVOLTA, E. Manual de química agrícola: Nutrição de plantas e fertilidade do solo. São Paulo: Agronômica Ceres, 1976. 528p.
- MARQUES, M.O.; CORAUCCI FILHO, B.; BASTOS, R.K.X.; KATO, M.T.; LIMA, V.L.A. de; ANDRADE NETO, C.O.; MENDONÇA, F.C.; MARQUES,

- P.A.A.; MARQUES, T.A.; BELLINGIERI, P.H.; VAN HAANDEL, A.C. Uso de esgotos tratados em irrigação: Aspectos agrônômicos e ambientais. In: BASTOS, R.K.X. Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003. p.61-118.
- MARTINS, A.L.C.; BATAGLIA, O.C.; CAMARGO, O.A.; CANTARELLA, H. Produção de grão e absorção de Cu, Fe, Mn e Zn pelo milho em solo adubado com lodo de esgoto, com e sem calcário. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, n.3, p.563-574, 2003.
- MELO, W.J.; MARQUES, M.O.; SANTIAGO, G. Efeito das doses crescentes de lodo de esgoto sobre frações da matéria orgânica e CTC de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.18, p.449-455, 1994.
- MIRANDA, G.M.; BISCAIA, R. C. M. Uso de lodo de Esgoto Calado na Produção de Milho. *Revista Sanare*. v.5, n.5, p. 86-89, 1996.
- MONTE SERRAT, B.; SANTIAGO, T.R.; BITTENCOURT, S.; MOTTA, A.C.V.; SILVA L.A.T.P.; ANDREOLI, C.V. Taxa de aplicação máxima anual de lodo de esgoto higienizado pelo processo de estabilização alcalina: estudo comparativo de curvas de pH de solos. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, n.19, p. 30-37, 2011.
- NASCIMENTO, C. W. A.; BARROS, D. A. S.; MELO, E. E. C.; OLIVEIRA, A. B. Alterações Químicas em Solos e Crescimento de Milho e Feijoeiro após Aplicação de Lodo de Esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v.28, p. 383-392, 2004.
- SILVA, F.C.; BOARETTO, A.E.; BERTON, R.S.; ZOTELLI, H.B.; PEXE, C.A.; BERNARDES, E.M. Efeito de Lodo de Esgoto na Fertilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo Cultivado com Cana-de-Açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. v.36, n.5, p. 834-840, 2001.
- SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S.; SHARMA, R.D. Alternativa agrônômica para o biossólido produzido no Distrito Federal. I – Efeito na produção de milho e na adição de metais pesados em Latossolo no cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.26, n.2, p. 487-495, 2002.
- SIMONETE, M.A.; KIEHL, J.C. Extração e Fitodisponibilidade de Metais em Resposta à Adição de Lodo de Esgoto no Solo. *Scientia Agrícola*, v.59, n.3, p. 555-563, 2002.
- SOUSA, J.T. de; CEBALLOS, B.S.O. de; HENRIQUE, I.N.; DANTAS, J.P.; LIMA, S.M.S. Reúso de água residuária na produção de pimentão (*Capsicum annum* L.). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, n.1, p. 89-96, 2006.
- SOUZA, R.A.S.; BISSANI, C.A.; TEDESCO, M.J.; FONTOURA, R.C. Extração sequencial de zinco e cobre em solos tratados com lodo de esgoto e composto de lixo. *Química Nova* v.35, n.2, p. 308-314, 2012.
- TSUTIYA, M.T. Alternativas de disposição final de biossólido. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; SOBRINHO, P.A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J.; MARQUES, M.O. (Eds.). *Biossólidos na agricultura*. São Paulo, SABESP, Escola Politécnica – USP, ESALQ, UNESP, 2001. p. 133-180.

Recebido em: set/2011
Aprovado em: dez/2011