

Disponibilidade de fósforo em solos tratados sucessivamente com lodos de esgoto⁽¹⁾.

Cristina Silva Carvalho⁽²⁾; **Victor Sanches Ribeirinho**⁽³⁾; **Cristiano Alberto de Andrade**⁽⁴⁾; **Isabella Clerici De Maria**⁽⁵⁾.

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do Macroprograma 02 da Embrapa, projeto FertLodo.

⁽²⁾ Doutoranda do Curso de Pós-Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical, Instituto Agronômico (IAC), bolsista CAPES, Campinas, SP, Av. Barão de Itapura, 1481, CEP 13001-970, criscarvalho25@yahoo.com.br; ⁽³⁾ Doutorando do Curso de Pós-Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical, IAC, Campinas, SP, Bolsista FAPESP; ⁽⁴⁾ Pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP; ⁽⁵⁾ Pesquisadora Científica do IAC, Campinas, SP, Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq.

RESUMO: O uso de lodo de esgoto (LE) na agricultura pode reduzir gastos com fertilizantes, principalmente fosfatados e nitrogenados. Este trabalho teve como objetivo avaliar a disponibilidade de P no solo em experimentos de longo prazo com aplicações sucessivas de LE. Foram coletadas amostras de solo de duas áreas experimentais. Uma em Campinas, tratada com lodo proveniente da ETE de Jundiaí, onde foram avaliados três tratamentos (NPK, 1 N e 2 N) em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Outra em Jaguariúna, com aplicações de LE provenientes das ETES de Barueri e Franca, avaliando-se seis tratamentos (controle, NPK, 1 N, 2 N, 4 N e 8 N) em blocos ao acaso, com três repetições. O LE promoveu incrementos de P no experimento de Campinas até a profundidade de 40 cm, comparativamente a adubação mineral. Em Jaguariúna com lodo de Barueri, os incrementos de P disponível foram lineares, com coeficiente linear igual a 16 na camada superficial, e na camada subsuperficial, o efeito das doses foi quadrático. Já para a área com lodo de Franca, os aumentos foram lineares com as doses e o efeito foi observado até 60 cm de profundidade. O uso do LE como fonte de N para o milho proporciona adicionalmente incremento na disponibilidade de P no solo. O aumento na disponibilidade de P na camada superficial do solo é proporcional à dose de lodo aplicada e nas camadas subsuperficiais o efeito depende, além da dose, também do número de reaplicações.

Termos de indexação: Biossólido, Resina, Fertilidade.

INTRODUÇÃO

Solos tropicais possuem elevados teores totais de fósforo (P), porém sua disponibilidade é fortemente influenciada pela adsorção do fosfato à superfície de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio. Tal cenário faz com que o P seja o segundo nutriente mais limitante da produtividade das culturas no País, ficando somente atrás do

nitrogênio. Dessa forma, a manutenção de elevadas produtividades requer a aplicação de fertilizantes fosfatados, na maioria das vezes solúveis. Estima-se que do total de P aplicado no País, cerca de 12% de todo o superfosfato triplo e, em média, 57% de todo MAP e superfosfato simples sejam importados. Além da dependência nacional de matéria prima ou fertilizantes do mercado externo, considerando-se os padrões de consumo atuais de fertilizantes e as reservas de P atualmente conhecidas, acredita-se que num horizonte de 100 a 150 anos haverá séria restrição à produção de alimentos devido ao fornecimento insatisfatório de P via adubação.

Nesse contexto, fontes alternativas contendo P, como por exemplo, lodos de esgoto, representariam opção para o fornecimento de P às culturas, reduzindo a dependência nacional quanto a importação de fertilizantes e otimizando o uso das reservas minerais desse elemento.

A dose de lodo para aplicação tem sido definida para o fornecimento de nitrogênio à cultura, mas em função de teores apreciáveis de P (Melo et al., 2002; Simonete et al., 2003), variando de 0,05 a 2,1% (Oliveira, 2000), há potencialmente, a possibilidade de incrementos desse nutriente com o uso do resíduo e, principalmente, em função de sucessivas aplicações.

Silva et al. (2002) ao avaliarem a eficiência do LE como fonte de P em comparação ao superfosfato triplo, verificaram que o LE foi mais eficiente. Em experimento com lodo de esgoto, Vaz & Gonçalves (2002) não observaram alteração nos teores de P na camada superficial do solo após os primeiros seis meses da aplicação. Estes autores somente constataram considerável elevação do nutriente após 13 meses de aplicação do resíduo, o que sugere que as formas de P do lodo não são prontamente disponíveis às plantas. Galdos et al. (2004), em experimento com aplicação de LE durante dois anos agrícolas, observaram que os teores de P no solo foram semelhantes aos do tratamento com adubo mineral.

Vários autores também avaliaram que a aplicação de LE foi capaz de aumentar o P extraível no solo (SUI & THOMPSON, 2000; BRAMRYD,

2001; SIMONETE, 2003). Entretanto, há poucos trabalhos enfatizando a disponibilidade de P em LE e sua dinâmica após sucessivas aplicações no solo.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a disponibilidade de P no solo em experimentos de longo prazo com aplicações sucessivas de lodo de esgoto.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a condução deste trabalho foram utilizadas amostras de solo coletadas de duas áreas experimentais: uma localizada em Campinas-SP (latitude 22°54' S, longitude 47°3' W e altitude de 600 m) e outra em Jaguariúna-SP (latitude 22°41' S, longitude 47° W e altitude de 570 m).

Em Campinas o solo foi classificado como Latossolo Vermelho eutroférico de textura argilosa (58% de argila) (EMBRAPA, 2006). O lodo utilizado foi proveniente da estação de tratamento de esgoto (ETE) de Jundiá-SP. A primeira aplicação foi realizada em dezembro de 2001 e as demais anualmente até 2007, entre novembro e dezembro. A aplicação do lodo foi em área total com posterior incorporação na camada de 0-20 cm.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições e três tratamentos constituídos por adubação mineral (AM) e duas doses de lodo de esgoto (1N e 2N). As doses de lodo foram definidas considerando-se a quantidade de 120 kg ha⁻¹ de N recomendada para a cultura do milho (Raij et al., 1996), o teor de N disponível no lodo e a taxa de mineralização do nitrogênio (TMN) de 30% (CETESB, 1999; CONAMA, 2006), sendo 1N a dose recomendada e 2N o dobro da dose recomendada para a cultura.

As quantidades totais de fósforo (P) em base seca adicionadas ao solo nas sete aplicações foram 147, 572 e 1.144 kg ha⁻¹ para AM, 1 N e 2 N, respectivamente.

O solo da área experimental de Jaguariúna é um Latossolo Vermelho distroférico, textura argilosa (45% de argila) (EMPRAPA, 2006). Foram utilizados lodos de esgoto provenientes ETES de Franca e de Barueri, SP. Os lodos foram dispostos em área total e incorporados na camada 0-20 cm.

O lodo de Barueri foi aplicado de 1999 a 2003. Em 1999 foram realizadas duas aplicações e a partir de 2000 foram feitas aplicações anuais, totalizando seis aplicações. O lodo proveniente de Franca foi aplicado de 1999 a 2003 de forma semelhante ao anterior, no entanto, continuou-se aplicando esse lodo anualmente até 2009, totalizando 12 aplicações.

O delineamento experimental foi em blocos ao caso com três repetições em que foram avaliados cinco tratamentos: adubação mineral, 0N (controle),

1N, 2N, 4N e 8N (dose recomendada, 2, 4 e 8 vezes a dose recomendada, respectivamente). As doses de lodo foram definidas seguindo os mesmos critérios descritos para a área anterior.

As quantidades totais de P adicionadas ao solo via adubação mineral e via lodo de Barueri nas seis aplicações foram 205, 610, 1.222, 2.441 e 4.883 kg ha⁻¹ para AM, 1 N, 2 N, 4 N e 8 N, respectivamente. Já as quantidades fornecidas via adubo mineral e lodo de Franca nas 12 aplicações realizadas foram 411, 915, 1.831, 3.668 e 7.257 kg ha⁻¹ para AM, 1 N, 2 N, 4 N e 8 N, respectivamente.

A amostragem dos solos foi feita em novembro/dezembro de 2011 nas camadas 0-20, 20-40, e 40-60 cm. Foram coletadas 10 amostras simples para compor uma amostra composta. As amostras foram secas ao ar e passadas em peneira de 2 mm de abertura de malha. As análises dos teores de P foram realizadas de acordo com Raij et al. (2001), em que o P foi extraído com resina trocadora de íons.

Os resultados foram analisados por meio de análise de variância e posterior teste de Tukey 5% para comparação de médias no experimento de Campinas ou regressão para doses no experimento de Jaguariúna.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O lodo de esgoto promoveu incrementos de P no solo do experimento de Campinas até a profundidade de 40 cm, comparativamente a adubação mineral (**Tabela 1**).

Tabela 1 – Teor de fósforo em área com lodo de Jundiá para três profundidades.

Tratamentos	Profundidades (cm)		
	0-20	20-40	40-60
	----- P (mg dm ⁻³) -----		
NPK	10 b	4 b	3 b
1N	22 ab	8 b	5 b
2N	38 a	15 a	6 b
CV (%)	52,37	36,77	45,85

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).

Percebe-se que o efeito em profundidade parece depender da dose de lodo aplicada, uma vez que as diferenças entre 1N e NPK diminuem na profundidade 20-40 cm. O efeito do lodo aumentando o teor de P abaixo da camada superficial é pouco esperado quando se considera fertilizações com fontes inorgânicas de P, sendo que nesse caso o incremento de P disponível poderia ser atribuído a maior absorção de P pelas plantas e, como o P é móvel quanto a redistribuição, este P pode alcançar as raízes e introduzir o nutriente em profundidade, sendo sua disponibilidade regulada

pela morte e decomposição do sistema radicular. Tal efeito também não pode ser descartado neste experimento.

A movimentação de compostos orgânicos solúveis contendo P também pode incrementar os teores desse elemento em profundidade no solo, conforme demonstrado no trabalho de Corrêa et al. (2004). Outra possibilidade é o recobrimento das superfícies de óxidos e hidróxidos pela matéria orgânica (Couto et al., 1979), reduzindo a adsorção de P que poderia movimentar-se em profundidade no perfil. Alguns ligantes orgânicos também poderiam reduzir a adsorção de fosfato pela competição pelos mesmos sítios de troca (Santos et al., 2009). De qualquer forma, o ponto chave é que a dose de lodo influenciou este incremento de P em profundidade, o que foi confirmado observando-se os resultados da **figura 1**.

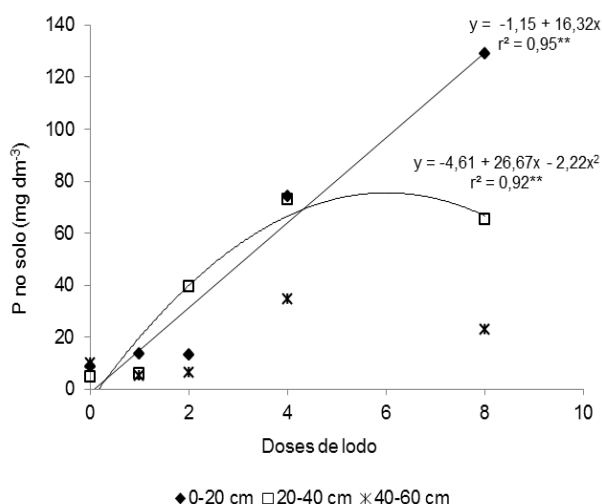


Figura 1 – Teor de fósforo do solo na área com lodo de Barueri em três profundidades.

Na camada superficial do solo de Jaguariúna tratado com lodo de Barueri os incrementos de P disponível foram lineares e com valor do coeficiente linear igual a 16 (**Figura 1**). Isso significa que a aplicação de lodo correspondente a 1N, que em média foi igual a 8 t ha⁻¹ ano⁻¹ (base seca), proporcionou incremento de P na camada 0-20 cm de 16 mg dm⁻³ de P disponível. Para se ter uma idéia do que significa esse aumento, 16 mg dm⁻³ de P no solo é o limite inferior de interpretação de teor classificado como médio no Boletim Técnico nº 100 do IAC.

Na camada subsuperficial de 20-40 cm do solo com lodo de Barueri, o efeito das doses foi quadrático, com valor máximo proporcionado pela aplicação de doses anuais de 6N ou 48 t ha⁻¹ em base seca. Considerando que nessa área foram

realizadas 6 aplicações de lodo e na área de campinas 7 aplicações, além de ser o mesmo sistema de recomendação da dose, é plausível supor que para uma mesma dose, os efeitos sejam semelhantes. Dessa forma, para a dose 2N, em que foram adicionados 1144 e 1222 kg ha⁻¹ de P, os teores disponíveis na camada 0-20 cm foram iguais a, respectivamente, 38 e 31 mg dm⁻³ para a área de Campinas e para a área de Jaguariúna com lodo de Barueri.

Na camada 20-40 cm, tais valores para as áreas de Campinas e Jaguariúna (lodo de Barueri) foram de 15 e 40 mg dm⁻³ de P, ou seja, consideravelmente distantes e com comportamento diferente da camada superficial. Considerando que o solo de Jaguariúna é menos argiloso, talvez aspectos relacionados à movimentação do P ou em formas orgânicas ou pela redução da adsorção na camada superficial possam constituir rotas importantes para o aumento da disponibilidade de P em profundidade.

O efeito da dose e do número de reaplicações fica ainda mais evidente quando se considera o lodo de Franca aplicado durante 11 anos (12 aplicações) em Jaguariúna (**Figura 2**). Nesse caso, os aumentos foram lineares com as doses e o efeito foi observado até 60 cm de profundidade.

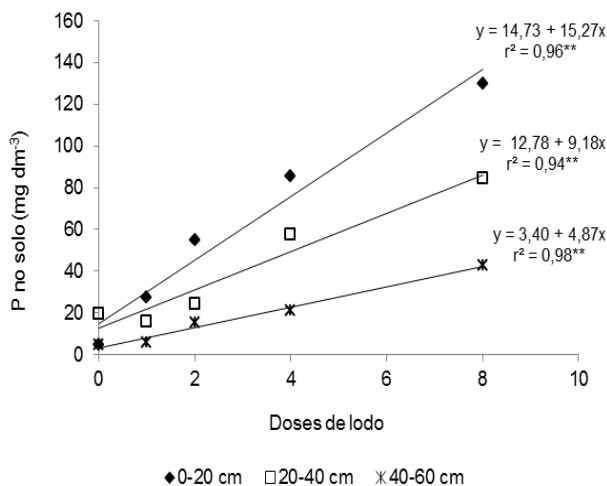


Figura 2 – Teor de fósforo do solo na área com lodo de Franca em três profundidades.

Por meio dos coeficientes angulares das retas da **figura 2**, percebe-se que as doses recomendadas para suprimento de N às plantas conduziram a incrementos de P disponível correspondentes a 15, 9 e 5 mg dm⁻³ de P.

No tratamento com adubação mineral, os teores de P foram iguais a 13, 5 e 8 mg dm⁻³ de P (área com lodo de Franca) e 13, 8 e 14 mg dm⁻³ de (área



com lodo de Barueri) para as profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, respectivamente; ou seja, inferiores aos encontrados nos tratamentos com lodo.

CONCLUSÕES

O uso do lodo de esgoto como fonte de nitrogênio para o milho proporciona adicionalmente incremento na disponibilidade de fósforo no solo.

O aumento na disponibilidade de fósforo na camada superficial do solo é proporcional à dose de lodo aplicada e nas camadas subsuperficiais o efeito depende, além da dose, também do número de reaplicações na mesma área.

AGRADECIMENTOS

À Capes e à FAPESP pela concessão de bolsas de doutorado à primeira e ao segundo autor, respectivamente.

REFERÊNCIAS

- BRAMRYD, T. Effects of liquid and dewatered sewage sludge applied to a Scots pine stand (*Pinus sylvestris* L.) in central Sweden. *Forest Ecology Management*, 147:197-216, 2001.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. Aplicação de biossólidos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas - Critérios para projeto e operação. São Paulo, CETESB, 1999. 33p.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodo de esgoto gerados em estação de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 30 ago. 2006. p.141-146.*
- CORRÊA, J.C.; MAUAD, M.; ROSOLEM, C.A. Fósforo no solo e desenvolvimento de soja influenciados pela adubação fosfatada e cobertura vegetal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39:1231-1237, 2004.
- COUTO, W.; LATHWELL, D.J. & BOULDIN, D.R. Sulfate sorption by two Oxisols and one Alfisol of the tropics. *Soil Science*, 127:108-116, 1979.
- EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solo, 2006.
- GALDOS, M.V.; DE 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*, 23:569-577, 2004.
- OLIVEIRA, F.C. Disposição de lodo de esgoto e composto de lixo urbano num Latossolo Vermelho Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. Piracicaba, 2000. 247p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, A.J. & FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2ª ed. Campinas, Instituto Agrônomo & Fundação IAC. 1996. 285p.
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas, Instituto Agrônomo, 2001. 285p.
- SANTOS, H.Q.; FONSECA, D.M.; CANTARUTTI, R.B.; ALVAREZ V.; V.H.; NASCIMENTO JÚNIOR, D. Níveis críticos de fósforo no solo e na planta para gramíneas forrageiras tropicais, em diferentes idades. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 26:173-182, 2002.
- SANTOS, A. J. M.; OLIVEIRA, M. R.; BACKERS, C. ; GODOY, J.G.; BULL, L.T.; KIIHL, T. A. M. Características químicas e físicas de um solo após a colheita de tapetes de grama esmeralda adubada com lodo de esgoto. *Revista Eletrônica de Agronomia*, 16:21-30, 2009.
- SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S. & SHARMA, R.D. Alternativa agrônoma para o biossólido produzido no distrito federal. II – Aspectos qualitativos, econômicos e práticos de seu uso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 26:497-503, 2002.
- SIMONETE, M.A.; KIEHL, J. C.; ANDRADE, C.A.; TEIXEIRA, C.F.A. Efeito do lodo de esgoto em um Argissolo e no crescimento e nutrição de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 38:1187-1195, 2003.
- SUI, Y.; THOMPSON, M.L. Phosphorus sorption, desorption, and buffering capacity in a biosolids-amended mollisol. *Soil Science Society of America*, 64:164-169, 2000.
- VAZ, L.M.S. & GONÇALVES, J.L.M. Uso de biossólidos em povoamento de eucalipto: efeito em atributos químicos do solo, no crescimento e na absorção de nutrientes. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 26:747-758, 2002.