

1- Embrapa Meio Ambiente, Caixa Postal 69 CEP 13.820-000 Jaguariúna, SP, Brasil. E-mails: rdboeira@cnpma.embrapa.br. y viviane@cnpma.embrapa.br

2- Embrapa Solos. E-mail: beata@cnpma.embrapa.br

RESUMO. A implantação de grande número de estações de tratamento de esgoto, em cidades brasileiras, traz como consequência a necessidade de áreas para descarte do resíduo gerado, o lodo de esgoto. Este material, se aplicado em quantidades excessivas no solo, apresenta risco elevado de poluição ambiental com nitrato. Neste estudo, teve-se por objetivo quantificar em laboratório o efeito residual de aplicações de dois tipos de lodo de esgoto sobre a disponibilidade de N mineral no solo, após incorporações sucessivas em quatro cultivos de milho. Solos coletados em parcelas experimentais, em campo, as quais receberam cinco doses de lodo de esgoto de Franca (origem urbana) e de Barueri (origem urbano-industrial) foram incubados aerobiamente durante 105 dias, avaliando-se, periodicamente, os teores de N mineral no solo. Os dados foram ajustados a modelo exponencial simples, estimando-se o potencial de mineralização do N orgânico presente no solo. A capacidade de suprimento de N mineral do solo foi aumentada em todos os tratamentos, e este efeito residual foi crescente com o aumento das doses aplicadas.

ABSTRACT. The objective of this work was to study under laboratory conditions the effect of long-term and continued application of sewage sludge on the residual mineral soil-N potential. Soil samples were collected in a field conditions area performed with four applications of two sewage sludges incorporated to the soil at various concentrations, with four maize crops. After 105 days of incubation, both sewage sludge treatments increased soil N release as compared to the control, and this effect was greater as the sludge rates increased.

1.- Introdução

Pesquisas em países desenvolvidos têm apontado para a viabilidade da disposição de lodos de esgoto em áreas agrícolas, com vantagens como ciclagem de nutrientes e incorporação de matéria orgânica ao solo. Paralelamente, problemas podem surgir pela adição ao solo de nitrogênio em quantidades excessivas, prejudiciais aos recursos naturais, além de patógenos, metais pesados e diversas substâncias orgânicas poluentes. O nitrogênio contido nos lodos de esgoto encontra-se predominantemente na forma orgânica, da qual cerca de um terço são potencialmente mineralizáveis durante um cultivo agrícola. Segundo Pratt et al. (1973), a liberação de N diminui para 10% no

segundo ano, 6% no terceiro ano e 5% no quarto ano. Isto ocorre porque no solo, a fração residual pode ser imobilizada e/ou incorporada na matéria orgânica, em formas mais resistentes à biodegradação (Ryan et al., 1973), o que pode reduzir as perdas, os riscos de lixiviação e determinar efeitos residuais positivos nos anos subsequentes à aplicação do lodo. Neste trabalho, teve-se por objetivo quantificar em laboratório o efeito residual de quatro aplicações anuais de lodos de esgoto sobre a disponibilidade de nitrogênio mineral em solo cultivado com milho.

2.- Material e Métodos

Os solos foram obtidos em parcelas de experimento em que avaliam-se cinco doses de dois lodos de esgoto, reaplicadas a cada cultivo, em área de Latossolo Vermelho distroférico textura argilosa, com os tratamentos padrões utilizados para milho, retirando-se restos culturais antes da re-aplicação dos lodos. Os resíduos foram provenientes das estações de tratamento de esgotos das cidades de Franca (de origem doméstica) e de Barueri (de origem urbano-industrial), no Estado de São Paulo, Brasil. Avaliam-se naquele ensaio as doses 0N, 1N, 2N, 4N e 8N de cada lodo de esgoto. No tratamento 0N (zero de nitrogênio) não foi aplicado lodo; a dose 1N dos lodos foi calculada visando-se aplicar a quantidade de nitrogênio recomendada para a cultura (Rajj et al., 1997) (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1. Quantidade de lodo de esgoto da Estação de Tratamento de Esgotos de Franca, SP aplicada ao solo na dose 1N⁽¹⁾ e quantidade calculada de nitrogênio orgânico (N-orgânico) e de nitrogênio mineral (N-mineral) aplicada ao solo via lodo em quatro cultivos de milho.

Cultivo:	1°	2°	3°	4°
	----- kg ha ⁻¹ -----			
Lodo	3.014	3.504	3.766	4.432
N-orgânico	156	204	218	175
N-mineral	14	33	39	46

⁽¹⁾1N: Tratamento correspondente à aplicação, via lodo, da dose de N disponível recomendada para o milho em cada safra.

mas, em doses maiores, o lodo de Barueri apresentou maior disponibilidade inicial de N mineral no solo do que o lodo de Franca.

A contínua mineralização dos compostos orgânicos do solo resultou também em efeito crescente das doses aplicadas de lodos sobre a disponibilidade potencial de N mineralizável (No) (Tabela 4), evidenciando a persistência no solo de frações de N orgânico de fácil mineralização.

Os valores estimados de No foram 13% (Franca) e 48% (Barueri) superiores à testemunha, na dose 1N. Estes resultados indicam que mesmo com a aplicação de doses adequadas de lodos de esgoto (área tratada com a dose 1N de lodo), aplicações sucessivas na mesma área, por vários anos, causam grande aumento na capacidade de suprimento de N do solo, podendo superar as necessidades das plantas, com risco de lixiviação do elemento no perfil do solo.

No tratamento testemunha, estimou-se em 3% a fração potencial de mineralização do N orgânico presente no solo, valor freqüentemente observado em frações de N orgânico estáveis em solos (Estados Unidos, 1995). Para solos tratados com o lodo de Franca na dose 1N, estimou-se em 4% a fração potencial de mineralização de N orgânico residual, com tendência de aumento com as doses aplicadas até 4N. Para o lodo de Barueri, a fração de mineralização dos resíduos de lodo foi em torno de 12% nas doses até 4N. Nas doses elevadas (8N) para os dois lodos, a fração de mineralização foi menor (6%), muito embora as quantidades de N orgânico detectadas no solo tenham sido mais elevadas (Tabela 4).

Os solos tratados com lodo de Barueri apresentaram potencial de mineralização superior aos tratados com o lodo de Franca, em todas as doses, embora as quantidades totais de N orgânico aplicadas com os dois lodos, nos

quatro cultivos, sejam semelhantes (cerca de 750 kg ha⁻¹ na dose 1N; Tabelas 1 e 2).

4.- Conclusões

A aplicação contínua de lodos de esgoto a latossolo, em quatro cultivos de milho, aumentou a capacidade do solo em disponibilizar N às plantas.

O efeito residual foi crescente com o aumento das doses aplicadas de lodos de esgoto.

Bibliografia

- Cetesb. Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas: critérios para projeto e operação. São Paulo, 1999. 32 p. (Manual Técnico, P4230).
- Estados Unidos. Environmental Protection Agency. Process design manual: land application of sewage sludge and domestic septage. Washington, 1995. 290 p.
- Pratt, P. F.; Broadbent, F. E.; Martin, J. P. Using organic wastes as nitrogen fertilizer. California Agriculture, Berkeley, 27:10-13, 1973.
- Raij, B. v.; Cantarella, H.; Quaggio, J. A.; Furlani, A. M. C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agronômico & Fundação IAC. Boletim técnico, 100. 1997. 285 p.
- Ryan, J. A.; Keeney, D. R.; Walsh, L. M. Nitrogen transformations and availability of anaerobically digested sewage sludge in soil. Journal of Environmental Quality, Madison, 2:240-273, 1973.
- Smith, J. L.; Schnabel, R. R.; McNeal, B. L.; Campbell, G. S. Potential errors in the first-order model for estimating soil nitrogen mineralization potentials. Soil Sci. Soc. Am. J. v. 44, n. 5, p. 996-1000, 1980.
- Stanford, G.; Smith, S. J. Nitrogen mineralization potentials of soils. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 36:465-471, 1972.
- Tedesco, M.J., Gianello, C., Bissani, C.A., Bohnen, H. y Volkweiss, S.J. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico,5)

Tabela 4. Teores de N-mineral e N-orgânico no início da incubação, em solos previamente tratados com lodos de esgoto, e de nitrogênio potencialmente mineralizável estimado com ajuste dos dados ao modelo exponencial simples (Stanford & Smith, 1972) após 105 dias de incubação.

Área ⁽¹⁾	t = 0 dia ⁽²⁾			N potencialmente mineralizável (No)	R ² ⁽³⁾
	N-(NH ₄ ⁺)	N-(NO ₃ ⁻ + NO ₂ ⁻)	N orgânico		
0N (testemunha)	3 a	11 a ⁽⁴⁾	1029 a	27,5	84
Franca ⁽⁵⁾ 1N ⁽⁶⁾	2 a	21 ab	1116 a	31,1	95
Barueri ⁽⁷⁾ 1N	5 a	21 ab	1142 ab	40,7	95
Franca 2N	6 a	32 b	1262 ab	44,1	97
Barueri 2N	3 a	47 c	1294 ab	63,3	92
Franca 4N	10 a	62 d	1410 ab	88,8	98
Barueri 4N	11 a	76 e	1592 b	94,1	97
Franca 8N	7 a	87 e	2286 c	103,9	88
Barueri 8N	7 a	118 f	2407 c	112,6	92

⁽¹⁾ Parcelas de experimento em campo tratadas com quatro aplicações de lodos de esgoto, em quatro cultivos de milho. ⁽²⁾ t = tempo. ⁽³⁾ Coeficiente de determinação. ⁽⁴⁾ Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (1%). ⁽⁵⁾ Lodo de esgoto da Estação de Tratamento de Esgotos de Franca, SP. ⁽⁶⁾ 1N: Tratamento correspondente à aplicação, via lodo, da dose de N disponível recomendada para o milho em cada safra; os tratamentos 2N, 4N e 8N representam duas, quatro e oito vezes a dose 1N, respectivamente. ⁽⁷⁾ Lodo de esgoto da Estação de Tratamento de Esgotos de Barueri, SP.

Tabela 2. Quantidade de lodo de esgoto da Estação de Tratamento de Esgotos de Barueri, SP aplicada ao solo na dose 1N⁽¹⁾ e quantidade calculada de nitrogênio orgânico (N-orgânico) e de nitrogênio mineral (N-mineral) aplicada ao solo via lodo em quatro cultivos de milho.

Cultivo:	1º	2º	3º	4º
	----- kg ha ⁻¹ -----			
Lodo	8.095	3.995	5.315	5.295
N-orgânico	159	160	183	241
N-mineral	14	39	42	29

⁽¹⁾1N: Tratamento correspondente à aplicação, via lodo, da dose de N disponível recomendada para o milho em cada safra.

A dose 1N foi calculada, para cada lodo, em função do nitrogênio potencialmente disponível nos lodos (Cetesb, 1999); as demais doses representam múltiplos da dose 1N. Os lodos úmidos foram distribuídos a lanço, na área total das parcelas experimentais, e incorporados a 20 cm de profundidade com enxada rotativa, três a quatro dias antes de cada semeadura. Antes da aplicação dos lodos para o terceiro e quarto cultivos foram feitas calagens, em cada parcela individualmente, tendo como base curvas de neutralização obtidas após incubação dos solos, em laboratório, com calcário dolomítico. Após o quarto cultivo, selecionaram-se as parcelas experimentais que apresentavam pH em água acima de 5,5. Nessas parcelas, coletaram-se amostras de solo para este trabalho, compostas por 10 subamostras da camada de 0 a 20 cm de profundidade, correspondentes aos tratamentos com as quatro doses (1N, 2N, 4N e 8N) dos dois lodos (Franca e Barueri), e ao tratamento testemunha (0N) (Tabela 3).

Tabela 3. Propriedades químicas dos solos das áreas amostradas para compor o experimento em laboratório⁽¹⁾.

Área de amostragem ⁽²⁾	pH	H+Al	Ca	Mg	K	P	C _{orgânico}
0 N (testemunha)	6,5	3,2	3,1	1,5	0,05	3	11,4
Franca ⁽³⁾ 1N ⁽⁴⁾	6,6	2,9	3,8	1,7	0,12	8	12,5
Barueri ⁽⁵⁾ 1N	6,3	4,0	2,7	1,3	0,11	15	11,7
Franca 2N	6,3	3,5	2,6	1,5	0,14	13	12,1
Barueri 2N	6,4	2,9	3,6	1,6	0,08	42	12,9
Franca 4N	6,2	3,7	3,8	1,5	0,10	30	14,0
Barueri 4N	6,0	3,7	4,1	1,3	0,08	75	13,7
Franca 8N	5,8	4,3	4,0	1,7	0,10	59	15,8
Barueri 8N	6,0	3,7	4,2	1,6	0,09	178	17,4

⁽¹⁾ Análises químicas segundo Silva et al. (1998). ⁽²⁾ Parcelas de experimento em campo tratadas com quatro aplicações de lodos de esgoto, em quatro cultivos de milho. ⁽³⁾ Lodo de esgoto da Estação de Tratamento de Esgotos de Franca, SP. ⁽⁴⁾ 1N: Tratamento correspondente à aplicação, via lodo, da dose de N disponível recomendada para o milho em cada safra; os tratamentos 2N, 4N e 8N representam duas, quatro e oito vezes a dose 1N, respectivamente. ⁽⁵⁾ Lodo de esgoto da Estação de Tratamento de Esgotos de Barueri, SP.

As amostras de solo foram peneiradas a 5mm, e mantidas em capacidade de campo até o início do experimento em laboratório.

Com os solos das áreas escolhidas, instalou-se em laboratório o experimento de incubação aeróbia, o qual foi conduzido à temperatura ambiente (média de 23°C) durante 105 dias. Utilizaram-se microcosmos com 500 g de solo, com três repetições, mantidos em capacidade de campo. Avaliou-se o teor de N mineral [N-(NO₃⁻+NO₂⁻) + N-NH₄⁺] por destilação a vapor (Tedesco et al., 1995), em amostras coletadas após homogeneização do solo, em sete épocas: 0, 14, 28, 42, 63, 84 e 105 dias. Estes dados foram ajustados ao modelo proposto por Stanford & Smith (1972), descrito pela equação: $N_m = N_o(1 - e^{-kt})$, em que N_m (mg N kg⁻¹ de solo) representa o valor estimado de N mineral acumulado em um dado tempo t (dia) e k representa a constante de primeira ordem da taxa de mineralização de N orgânico (dia⁻¹). O parâmetro N_o (N orgânico potencialmente mineralizável no solo; mg N kg⁻¹ de solo) foi estimado por análise de regressão não-linear (Smith et al., 1980).

3.- Resultados e discussão

Os solos utilizados nas incubações encontravam-se com baixa acidez e com nutrientes disponíveis (Tabela 3), apresentando valores médios de saturação em bases no solo e conseqüentemente favorecendo as condições para mineralização de N. Os teores de Ca e de C_{orgânico} mostraram tendência de aumento quando se aplicaram doses elevadas de lodos, em relação à testemunha, em função dos teores presentes nos lodos e das calagens efetuadas. Os teores de P podem estar refletindo os elevados teores presentes nos lodos em forma orgânica, com maior acúmulo nos solos tratados com o lodo de Barueri, mais rico neste nutriente. Os teores de K encontravam-se mais elevados que a testemunha, pois em todos os tratamentos houve complementação mineral com KCl.

Na Tabela 4 apresentam-se os teores de N mineral no solo no início da incubação e as estimativas do potencial de mineralização do N orgânico (N_o) remanescente nos solos das áreas experimentais amostradas em campo. Avaliando-se o teor de N orgânico nos solos, pode-se observar uma tendência de aumento com as doses, porém apenas nos tratamentos 8N houve acúmulo significativo em relação à testemunha, para os dois lodos de esgoto.

Para avaliação do efeito residual das aplicações anteriores de lodos, foram comparados o teor de N mineral no início da incubação e o potencial de mineralização de N orgânico presente no solo (N_o), em relação à testemunha. No início da incubação (t = 0), em doses superiores a 1N, o teor de N prontamente disponível [N-(NO₃⁻+NO₂⁻) + N-NH₄⁺] foi significativamente superior à testemunha, alcançando valores de até 125 mg kg⁻¹. Nesses tratamentos, o nitrato foi a forma mineral predominante no tempo zero, predispondo estas áreas à lixiviação intensiva do íon, com risco de contaminação ambiental.

Considerando-se a origem dos lodos, industrial ou urbana, não houve influência nos solos tratados com as doses 1N