

# EFEITO RESIDUAL DE QUATRO APLICAÇÕES DE LODOS DE ESGOTO SOBRE A DISPONIBILIDADE DE NITROGÊNIO

*R.C.Boeira<sup>1</sup>\*; V.C.B.Maximiliano<sup>1</sup>; B.Madari<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Embrapa – Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento e Avaliação de Impacto Ambiental – Caixa Postal, 69. 13820-000 – Jaguariúna/SP; <sup>2</sup>Embrapa – Centro Nacional de Pesquisa de Solos – Rua Jardim Botânico, 1024. 22460-000 – Rio de Janeiro/RJ.

\*e-mail: rcboeira@cnpma.embrapa.br

**Introdução** - O grande crescimento da população brasileira e de nossas cidades colocamos frente a um grave problema ambiental: nossos corpos d'água não têm capacidade de suporte para toda a carga de esgoto gerada por essas comunidades. Como solução, numerosos municípios têm buscado a implantação de estações de tratamento de esgoto, necessitando de áreas para descarte do resíduo aí gerado, o lodo de esgoto. Pesquisas em países desenvolvidos, defrontados com esta situação há algumas décadas, têm apontado para a viabilidade da disposição desse material 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. 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 reduz as perdas, os riscos de lixiviação e determina efeitos residuais positivos nos anos subsequentes à aplicação do lodo.

Neste estudo, teve-se por objetivo quantificar o efeito residual de aplicações de lodos de esgoto sobre a disponibilidade de nitrogênio mineral no solo, após incorporações sucessivas em quatro cultivos de milho, tendo-se por hipótese que a aplicação continuada destes resíduos ao solo aumenta a sua capacidade de fornecimento de N às plantas.

**Material e Métodos** - Os solos aqui estudados foram obtidos em parcelas de experimento em que avaliam-se cinco doses de dois lodos de esgoto, reaplicadas a cada cultivo de milho. O ensaio localiza-se em Jaguariúna, SP, Brasil (latitude 22°41' sul, longitude 47°W.Gr. e altitude 570m) em área de Latossolo Vermelho distroférico textura argilo-arenosa (Typic Haplustox). Os tratamentos culturais foram os padrões utilizados para milho, retirando-se restos culturais antes da aplicação dos lodos. Os lodos utilizados são provenientes das estações de tratamento de esgotos sanitários das cidades de Franca (de origem doméstica) e de Barueri (de origem urbano-industrial), no Estado de São Paulo. O sistema de tratamento utilizado nas duas estações é a digestão anaeróbia dos lodos ativados. Avaliam-se 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 (Camargo et al., 1986) e calculada em função do nitrogênio potencialmente disponível nos lodos (Cetesb, 1999) (Tabela 1); as demais 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. Nestas áreas, coletaram-se amostras de solo compostas por 10 subamostras

(0-20cm), correspondentes aos tratamentos com as quatro doses (1N, 2N, 4N e 8N) dos dois lodos (Franca e Barueri), e ao tratamento testemunha (0N) (Tabela 2). O solo foi peneirado a 5mm, e mantido em capacidade de campo.

Tabela 1. Quantidade de lodos de esgoto aplicada ao solo na dose 1N<sup>(1)</sup> e quantidade calculada de nitrogênio orgânico (N-orgânico) e de nitrogênio mineral (N-mineral) aplicada ao solo via lodos em quatro cultivos de milho.

Origem do lodo de esgoto:	Franca <sup>(2)</sup>				Barueri <sup>(3)</sup>			
	Cultivo:	1°	2°	3°	4°	1°	2°	3°
	----- kg ha <sup>-1</sup> -----							
Lodo	3.014	3.504	3.766	4.432	8.095	3.995	5.315	5.295
N-orgânico	156	204	218	175	159	160	183	241
N-mineral	14	33	39	46	14	39	42	29

<sup>(1)</sup>1N: Tratamento correspondente à aplicação, via lodo, da dose de N disponível recomendada para o milho em cada safra. <sup>(2)</sup>Lodo de esgoto da Estação de Tratamento de Esgotos de Franca, SP. <sup>(3)</sup>Lodo de esgoto da Estação de Tratamento de Esgotos de Barueri, SP

Tabela 2. Propriedades químicas dos solos das áreas utilizadas no experimento em laboratório<sup>(1)</sup>.

Área <sup>(2)</sup>	pH H <sub>2</sub> O	Al	H + Al	Ca	Mg	K	P	Saturação em bases	C <sub>orgânico</sub>
0 N (testemunha)	6,5	0,0	3,2	3,1	1,5	0,05	3	59	11,4
Franca <sup>(3)</sup> 1N <sup>(4)</sup>	6,6	0,0	2,9	3,8	1,7	0,12	8	66	12,5
Barueri <sup>(5)</sup> 1N	6,3	0,1	4,0	2,7	1,3	0,11	15	50	11,7
Franca 2N	6,3	0,1	3,5	2,6	1,5	0,14	13	55	12,1
Barueri 2N	6,4	0,0	2,9	3,6	1,6	0,08	42	60	12,9
Franca 4N	6,2	0,0	3,7	3,8	1,5	0,10	30	60	14,0
Barueri 4N	6,0	0,1	3,7	4,1	1,3	0,08	75	59	13,7
Franca 8N	5,8	0,0	4,3	4,0	1,7	0,10	59	57	15,8
Barueri 8N	6,0	0,0	3,7	4,2	1,6	0,09	178	62	17,4

<sup>(1)</sup>(Silva et al., 1998). <sup>(2)</sup>Parcelas de experimento em campo tratadas com quatro aplicações de lodos de esgoto, em quatro cultivos de milho. <sup>(3)</sup>Lodo de esgoto da Estação de Tratamento de Esgotos de Franca, SP. <sup>(4)</sup>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. <sup>(5)</sup>Lodo de esgoto da Estação de Tratamento de Esgotos de Barueri, SP.

Com os solos das áreas escolhidas, instalou-se em laboratório um experimento de incubação aeróbia, conduzido à temperatura ambiente (média de 23°C), utilizando-se microcosmos com 500 g de solo, com três repetições, mantidos em capacidade de campo. Avaliou-se o teor de N mineral [N-(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>+NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) + N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>] 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: Nm = No(1-e<sup>-kt</sup>), em que Nm (mg N kg<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup>). O parâmetro No (N orgânico potencialmente mineralizável no solo; mg N kg<sup>-1</sup> de solo) foi estimado por análise de regressão não-linear (Smith et al., 1980).

Resultados e Discussão - Os solos utilizados nas incubações encontravam-se com baixa acidez e com disponibilidade de nutrientes, apresentando valores médios de saturação em bases no solo (Tabela 2), favorecendo as condições para mineralização de N, e indisponibilizando metais pesados na solução do solo. Os teores de Ca e de C<sub>orgânico</sub> mostraram tendência de aumento em 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 com lodos houve complementação mineral com KCl.

Na Tabela 3 apresentam-se os teores de N mineral no solo no início da incubação e as estimativas do potencial de mineralização do N orgânico (No) remanescente nos solos das áreas experimentais amostradas.

Tabela 3. 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 <sup>(1)</sup>	t = 0 dia <sup>(2)</sup>			N potencialmente mineralizável (No)	R <sup>2</sup> <sup>(3)</sup>
	N-(NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	N-(NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	N orgânico		
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----				
0N (testemunha)	3 a	11 a <sup>(4)</sup>	1029 a	27,5	84
Franca <sup>(5)</sup> 1N <sup>(6)</sup>	2 a	21 ab	1116 a	31,1	95
Barueri <sup>(7)</sup> 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

<sup>(1)</sup> Parcelas de experimento em campo tratadas com quatro aplicações de lodos de esgoto, em quatro cultivos de milho. <sup>(2)</sup> t = tempo. <sup>(3)</sup> Coeficiente de determinação. <sup>(4)</sup> Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (1%). <sup>(5)</sup> Lodo de esgoto da Estação de Tratamento de Esgotos de Franca, SP. <sup>(6)</sup> 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. <sup>(7)</sup> Lodo de esgoto da Estação de Tratamento de Esgotos de Barueri, SP.

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 avaliação do efeito residual das aplicações anteriores de lodos nos solos das áreas escolhidas, foram comparados o teor de N mineral no início da incubação e o potencial de mineralização de N orgânico presente no solo (No), em relação à testemunha.

No início da incubação (t = 0), em doses superiores a 1N, o teor de N prontamente disponível [N-(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>+NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) + N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>] foi significativamente superior à testemunha, alcançando valores de até 125 mg kg<sup>-1</sup>. 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 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 3), evidenciando a persistência no solo de frações de N orgânico de fácil mineralização. 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<sup>-1</sup> na dose 1N; Tabela 1). 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 (1N), 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 3).

Conclusão - Aplicações prévias de lodos esgoto de Franca e de Barueri em Latossolo aumentam a capacidade de suprimento de N do solo para as plantas, e este efeito residual é crescente com o aumento das doses aplicadas.

#### Referências:

- CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1986. 95 p. (Boletim Técnico, 106)
- 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.
- 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.
- SILVA, F. C.; EIRA, P. A.; BARRETO, W. D. O.; PÉREZ, D. V.; SILVA, C. A. Manual de métodos de análises químicas para avaliação da fertilidade do solo. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1998. 56 p. (Documentos, 3).
- 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.; VOKWEISS, S. J. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p. (Boletim Técnico, 5)