

## **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 colocam-nos 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 subseqüentes 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:                  | 1º                              | 2º    | 3º    | 4º    | 1º                     | 2º    | 3º    | 4º    |
|                           | ----- 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> |
|-----------------------------------------|---------------------|------------------------------------------------|--------|-----|-----|------|---------------------|--------------------|-----------------------|
|                                         |                     | ----- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ----- |        |     |     |      | mg kg <sup>-1</sup> | %                  | g kg <sup>-1</sup>    |
| 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:  $N_m = N_o(1 - e^{-kt})$ , em que  $N_m$  (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  $N_o$  (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  $C_{orgânico}$  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-CNPq, 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)