

# Mineralização de nitrogênio após cinco aplicações de lodos de esgoto em solo agrícola

Rita Carla Boeira; Viviane Cristina Bettanin Maximiliano

**Resumo** — A aplicação agrícola de quantidades excessivas de lodos de esgoto apresenta risco elevado de poluição ambiental com nitrato, gerado durante sua decomposição; este, em excesso no solo, pode ser lixiviado para lençóis freáticos ou corpos d'água podendo causar intoxicações graves (metahemoglobinemia). Com o objetivo de avaliar a mineralização de nitrogênio contido em dois tipos de lodo de esgoto, utilizaram-se amostras de Latossolo onde os resíduos foram aplicados em quatro cultivos sucessivos de milho. Em laboratório, procedeu-se a uma quinta aplicação e incorporação: na dose 1, foram aplicadas quantidades equivalentes a 6.820 kg/ha de lodo seco urbano e a 9.100 kg/ha de lodo seco urbano-industrial; a dose 2 foi o dobro da dose 1. Periodicamente foram determinados os teores de N mineral. A avaliação dos dados mostrou que a fração de mineralização estimada para o N orgânico foi semelhante para os dois resíduos e para as duas doses aplicadas ao solo.

**Palavras-chave** — Latossolo, biossólido, nitrogênio orgânico, nitrogênio potencialmente mineralizável, solo tropical, lodo de esgoto anaeróbio.

## I. INTRODUÇÃO

O grande crescimento da população brasileira e de nossas cidades coloca-nos frente a um grave problema ambiental: nossos corpos d'água não têm capacidade de suporte para toda a carga de esgoto gerada nessas comunidades. Como solução, está havendo implantação de grande número de estações de tratamento de esgoto, em cidades brasileiras, e como consequência há necessidade de áreas para descarte do resíduo aí gerado, o lodo de esgoto. 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 (N) em quantidades excessivas, prejudiciais aos recursos naturais, além de patógenos, metais pesados e diversas substâncias orgânicas poluentes. O N 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 [1], 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

Rita Carla Boeira, [rcboeira@cnpm.br](mailto:rcboeira@cnpm.br), Embrapa Meio Ambiente, Rodovia SP 340, km 127,5, Bairro Tanquinho Velho, 13.820-000. Jaguariúna/SP, Tel. 19-3867.8756, Fax 19-3867.8740; Viviane Cristina Bettanin Maximiliano, [viviane@cnpm.br](mailto:viviane@cnpm.br), Embrapa Meio Ambiente.

à biodegradação [2], o que pode reduzir as perdas, os riscos de lixiviação e determinar efeitos residuais positivos nos anos subsequentes à aplicação do lodo. Estas alterações no solo podem também afetar a quantidade de N mineralizado em novas aplicações do resíduo, numa mesma área. O conhecimento dos atributos do lodo relacionados à degradação microbiológica do N orgânico pode contribuir para a previsão de seu comportamento no solo, permitindo definir parâmetros úteis ao estabelecimento das doses máximas de lodos de esgoto a serem aplicadas aos solos, em função do N disponibilizado às plantas. O N que é disponível às plantas é definido como sendo a soma do N na forma de nitrato ( $N-NO_3^-$ ), do N na forma de amônio ( $N-NH_4^+$ ) quando não é perdido por volatilização ou desnitrificação, e do N orgânico que é mineralizado em dado tempo [3]. Neste trabalho, teve-se por objetivo quantificar em laboratório o efeito de quatro aplicações prévias sobre a dinâmica de N de uma nova aplicação de dois lodos de esgoto anaeróbios, um de origem estritamente urbana (Franca, SP) e outro com presença de despejos industriais (Barueri, SP), em Latossolo Vermelho distroférrico.

## II. MATERIAL E MÉTODOS

### A. Origem do solo

Os solos 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 distroférrico textura argilosa (Typic Haplustox). Os tratamentos culturais foram os padrões utilizados para milho, retirando-se restos culturais antes da aplicação dos lodos. Os lodos utilizados foram provenientes das estações de tratamento de esgotos sanitários das cidades de Franca (de origem estritamente doméstica) e de Barueri (recebe esgotos domésticos e industriais), no Estado de São Paulo. O sistema de tratamento utilizado nas duas estações foi a digestão anaeróbia dos lodos ativados. No campo experimental, os lodos úmidos foram distribuídos a lanco em quatro cultivos, 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. Nas parcelas consideradas para o presente

trabalho, foram aplicadas quatro vezes as doses de lodos de esgoto (Tabela I) equivalentes à quantidade de nitrogênio recomendada para a cultura de milho [4] e, calculadas em função da quantidade de nitrogênio potencialmente disponível nos lodos – quando aplicados ao solo sem aplicação anterior de lodo [5]. Após o quarto cultivo, selecionaram-se as parcelas experimentais que apresentavam pH em água acima de 5,5.

TABELA I

QUANTIDADE DE LODOS DE ESGOTO<sup>1</sup> APLICADAS EM CAMPO E QUANTIDADES CALCULADAS DE NITROGÊNIO ORGÂNICO E DE NITROGÊNIO MINERAL INCORPORADAS AO SOLO VIA LODOS NOS QUATRO CULTIVOS DE MILHO NAS PARCELAS EXPERIMENTAIS DE ONDE FORAM COLETADAS AMOSTRAS DE SOLO PARA O EXPERIMENTO DE MINERALIZAÇÃO EM LABORATÓRIO.

|                | Cultivo com lodo de Franca <sup>2</sup> |       |       |       |
|----------------|---|-------|-------|-------|
|                | 1°                                      | 2°    | 3°    | 4°    |
|                | ----- kg ha <sup>-1</sup> -----         |       |       |       |
| Lodo de esgoto | 3.014                                   | 3.504 | 3.766 | 4.432 |
| N orgânico     | 156                                     | 204   | 218   | 175   |
| N mineral      | 14                                      | 33    | 39    | 46    |

  

|                | Cultivo com lodo de Barueri <sup>3</sup> |       |       |       |
|----------------|--|-------|-------|-------|
|                | 1°                                       | 2°    | 3°    | 4°    |
|                | ----- kg ha <sup>-1</sup> -----          |       |       |       |
| Lodo de esgoto | 8.095                                    | 3.995 | 5.315 | 5.295 |
| N orgânico     | 159                                      | 160   | 183   | 241   |
| N mineral      | 14                                       | 39    | 42    | 29    |

<sup>1</sup> 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.

### B. Experimento de mineralização em laboratório

Após a coleta, as amostras de solo foram peneiradas a 5mm, e mantidas em capacidade de campo até o início do experimento em laboratório. Com estas amostras de solo, compuseram-se os tratamentos. Nos tratamentos aqui denominados “Franca 0” e “Barueri 0” não foi feita a quinta aplicação dos lodos, sendo então considerados como tratamentos testemunhas. Nos tratamentos em que foi feita a quinta aplicação dos lodos, utilizaram-se duas doses dos mesmos, a seguir descritas. Nos tratamentos denominados “Franca 160” e “Barueri 160” incorporaram-se ao solo 160 mg kg<sup>-1</sup> de N orgânico via lodos de esgoto; nos tratamentos denominados “Franca 320” e “Barueri 320”, foram incorporados ao solo 320 mg kg<sup>-1</sup> de N orgânico via lodos de esgoto (Tabela II). Com estes tratamentos, 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, por meio de pesagens. 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 [6], em amostras coletadas após homogeneização do solo, em sete épocas: 0, 14, 28, 42, 63, 84 e 105 dias. A variação líquida de N mineral foi calculada em cada época de avaliação, a partir de sete dias, obtendo-se os valores de N mineral acumulado.

TABELA II

QUANTIDADE DE LODOS DE ESGOTO E DE NITROGÊNIO ORGÂNICO INCORPORADAS AO SOLO<sup>1</sup> VIA LODOS NOS TRATAMENTOS AVALIADOS NO EXPERIMENTO DE MINERALIZAÇÃO EM LABORATÓRIO.

| Tratamento             | Dose aplicada ao solo em laboratório |            |
|------------------------|--------------------------------------|------------|
|                        | Lodo de esgoto                       | N orgânico |
|                        | ----- mg kg <sup>-1</sup> -----      |            |
| Franca <sup>2</sup> 0  | 0                                    | 0          |
| Franca 160             | 3.410                                | 160        |
| Franca 320             | 6.820                                | 320        |
| Barueri <sup>3</sup> 0 | 0                                    | 0          |
| Barueri 160            | 4.550                                | 160        |
| Barueri 320            | 9.100                                | 320        |

<sup>1</sup> Latossolo coletado em parcelas experimentais de campo onde foram feitas quatro aplicações de lodos de esgoto, em quantidades recomendadas para uso agrícola em função do teor de N disponível. <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

Estes dados foram ajustados ao modelo proposto por [7], 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; dados apresentados em mg N kg<sup>-1</sup> de solo) foi estimado por análise de regressão não-linear [8]. A fração de mineralização do N-orgânico dos lodos (FM) incorporados ao solo em quinta aplicação foi calculada utilizando-se (1):

$$FM (\%) = \frac{[N_o (\text{tratamento}) - N_o (\text{testemunha}) \times 100]}{[N \text{ orgânico aplicado via lodo de esgoto}]} \quad (1)$$

### III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela III apresentam-se os teores de N mineral no solo no início da incubação. Considerando-se a origem dos lodos - industrial ou urbana -, não houve diferença entre as amostras de solo utilizadas para a composição dos tratamentos do experimento em laboratório. Os solos tratados com os dois

lodos apresentaram mesma disponibilidade inicial de N mineral, ou N prontamente disponível às plantas, avaliado pela soma de teores:  $[N-(NO_3^- + NO_2^-) + N-NH_4^+]$ .

TABELA III

TEOR DE N MINERAL E DE N ORGÂNICO NO INÍCIO DA INCUBAÇÃO, EM SOLO PREVIAMENTE TRATADO COM LODOS DE ESGOTO

| Área de coleta de solo <sup>1</sup> | t = 0 dia <sup>2</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> -----   |  |            |
| Franca <sup>3</sup>                 | 2                                 | 21   | 1.116      |
| Barueri <sup>4</sup>                | 5                                 | 21   | 1.142      |

<sup>1</sup> Parcelas de experimento em campo tratadas com quatro aplicações de lodo de esgoto, em quatro cultivos de milho, cada aplicação correspondeu à aplicação, via lodo, da dose de N disponível recomendada para o milho em cada safra. <sup>2</sup> t = tempo. <sup>3</sup> Lodo de esgoto da estação de tratamento de esgotos de Franca, SP. <sup>4</sup> Lodo de esgoto da estação de tratamento de esgotos de Barueri, SP.

Na Tabela IV, apresentam-se as estimativas do potencial de mineralização do N orgânico (No) nos tratamentos avaliados. Dados da literatura indicam que doses crescentes de lodo de esgoto aplicadas ao solo não afetam, em geral, a fração de mineralização [9]. Assim, a fração de mineralização do N orgânico desses lodos de esgoto também não foi afetada por diferentes doses do resíduo quando aplicadas pela primeira vez neste solo [10]; os autores obtiveram valor médio de 31% para a fração de mineralização dos dois lodos de esgoto. No entanto, após cinco aplicações, verifica-se que houve uma diminuição para 18% na fração de mineralização média de N dos lodos, que variou de 16 a 22% (Tabela IV). O efeito acumulativo e de longo prazo das aplicações anteriores sobre diversos produtos orgânicos adicionados ao solo pode ter diminuído a mineralização dos lodos ou pode ter favorecido a atividade de microrganismos desnitrificadores, causando perdas de N do solo na forma gasosa, contaminante da atmosfera. Nas duas situações, verifica-se a influência de aplicações anteriores sobre a dinâmica de mineralização de novas aplicações agrícolas de lodos de esgoto em uma mesma área. A extensão da diferença obtida para o índice de disponibilidade anual de N orgânico de lodo de esgoto – ou fração de mineralização – no solo que recebeu aplicação de lodo pela primeira vez (31%) e no solo previamente tratado (18%) indica a necessidade de re-avaliação desse parâmetro quando ocorrem aplicações sucessivas de lodos na mesma área. Nessa re-avaliação, considera-se simultaneamente o efeito residual das aplicações anteriores, que podem ser relevantes para o cálculo da taxa agrônômica de aplicação de lodos de esgoto em solos agrícolas, quando a mesma for definida em função do N disponível no lodo de esgoto. Com essa conduta, busca-se estimar a liberação de N ao solo suficiente apenas à nutrição das plantas, determinando-se dosagens mais precisas a aplicar de lodo em nossos campos agrícolas, com diminuição do risco de perdas de nitrogênio do lodo de esgoto por volatilização ou lixiviação no perfil do

solo e conseqüentes riscos de contaminação de corpos d'água por nitrato.

TABELA IV

NITROGÊNIO POTENCIALMENTE MINERALIZÁVEL, COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO E FRAÇÃO POTENCIAL DE MINERALIZAÇÃO DE N ORGÂNICO DE DUAS DOSES DE LODOS DE ESGOTO INCUBADAS COM LATOSSOLO

| Tratamento             | N potencialmente mineralizável no solo <sup>1</sup> (No) | R <sup>2</sup> | Fração potencial de mineralização do N orgânico do lodo de esgoto |
|------------------------|--|----------------|---|
|                        |  |                | %   |
| Franca <sup>2</sup> 0  | 31   | 95             | -   |
| Franca 160             | 56   | 97             | 16  |
| Franca 320             | 103  | 97             | 22  |
| Barueri <sup>3</sup> 0 | 41   | 95             | -   |
| Barueri 160            | 71   | 94             | 19  |
| Barueri 320            | 91   | 98             | 16  |

<sup>1</sup> Estimado com ajuste dos dados ao modelo exponencial simples [7] após 105 dias de incubação. <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.

#### IV. CONCLUSÃO

A fração de mineralização do N orgânico aplicado via lodo, de Franca ou de Barueri, a Latossolo previamente tratado com quatro aplicações sucessivas dos resíduos, foi estimada em 18%.

#### REFERÊNCIAS

- [1] P. F. Pratt, F. E. Broadbent, J. P. Martin "Using organic wastes as nitrogen fertilizer". California Agriculture, Berkeley, 27:10-13, 1973.
- [2] J. A. Ryan, D. R. Keeney, L. M. Walsh "Nitrogen transformations and availability of anaerobically digested sewage sludge in soil". Journal of Environmental Quality, Madison, 2:240-273, 1973.
- [3] J. T. Gilmour, V. Skinner "Predicting plant available nitrogen in land-applied biosolids" Journal of Environmental Quality, Madison, 28:1122-1126, 1999.
- [4] B. van Raij, H. Cantarella, J. A. Quaggio, A. M. C. Furlani "Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo". Campinas: Instituto Agrônomo & Fundação IAC, 1997. 285p. (Boletim técnico, 100)
- [5] 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).
- [6] M. J. Tedesco, C. Gianello, C. Bissani, H. Bohnen, S. J. Volkweiss "Análise de solo, plantas e outros materiais". 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p. (Boletim Técnico, 5)
- [7] G. Stanford, S. J. Smith "Nitrogen mineralization potentials of soils". Soil Science Society Am. Proc., Madison, 36:465-471, 1972.
- [8] J. L. Smith, R. R. Schnabel, B. L. McNeal, G. S. Campbell "Potential errors in the first-order model for estimating soil nitrogen mineralization potentials". Soil Science Society of America Journal, 44:996-1000, 1980.
- [9] E. Epstein, D. B. Keane, J. J. Meisinger, J. O. Legg "Mineralization of nitrogen from sewage sludge and sludge compost". Journal of Environmental Quality, 7: 217-221, 1978.
- [10] R. C. Boeira, M. A. V. Ligo, J. F. Dynia "Mineralização de nitrogênio em solo tropical tratado com lodos de esgoto". Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 37:1639-1647, 2002.