

Aspectos Experimentais na Avaliação da Mineralização de Nitrogênio de Lodos de Esgoto Incubados com Solos

Rita Carla Boeira¹

O uso adequado de lodos de esgoto em solos para fins de adubação nitrogenada deve visar a eficiente utilização do elemento, essencial para o crescimento vegetal, com um mínimo de perdas, seja por percolação, por volatilização, por desnitrificação ou por arraste superficial. Com esta finalidade, emprega-se a estimativa da fração de mineralização de N nos cálculos das taxas agronômicas de aplicação de lodos de esgoto.

As taxas e a fração de mineralização de resíduos podem ser estimadas por várias metodologias, desenvolvidas em diversos laboratórios, conhecendo-se a capacidade de mineralização de N em solo não tratado e em solo tratado com lodo de esgoto, por meio de incubações nas quais avalia-se a produção de N mineral *versus* tempo. As incubações podem ser aeróbias como as referidas por Cetesb (1999) ou anaeróbias (Bundy & Meisinger, 1994), e podem ter duração variável. Em geral, tem-se como premissa a suposição de que não ocorra *priming effect* (Hsieh et al., 1981), ou seja, que a adição de lodo ao solo não altere a mineralização do N orgânico originalmente presente no solo, conforme resultados de Sikora & Yakovchenko (1996). Dada a influência das propriedades físicas, químicas e bioló-

gicas dos diferentes tipos de solo sobre as taxas de mineralização de resíduos, é de grande importância a incubação do solo específico em que será feita a aplicação do lodo de esgoto.

Neste trabalho, são abordados aspectos metodológicos envolvidos na determinação em laboratório da fração de mineralização de N orgânico presente em lodos de esgoto provenientes de estações de tratamento, quando aplicados em solos.

Com relação ao solo, deve-se inicialmente definir a profundidade da coleta das amostras a serem incubadas, levando-se em consideração a incorporação ou não do lodo de esgoto na área agrícola, e se a aplicação é feita em área total, em sulcos ou em covas. Uma vez coletadas as amostras, um fator importante é o grau de umidade em que o solo é mantido até o início do experimento. A secagem do solo pode superestimar a fração de mineralização, em função da grande quantidade de biomassa microbiana morta que é imediatamente mineralizada ao se re-umedecer o solo (Kieft et al., 1987). Outro fator que contribui para que a avaliação da mineralização possa ser superestimada é a

¹Engenheira Agrônoma, Doutora em Solos e Nutrição de Plantas, Embrapa Meio Ambiente Rod.SP 340 - Km 127,5 - Cep 13820-000, Jaguariúna, SP. rcboeira@cnpma.embrapa.br

homogeneização do solo; quanto menor o tamanho da malha utilizada no peneiramento da amostra, maior é a exposição da matéria orgânica lábil, que em condições naturais (campo) encontra-se protegida nos agregados (Ross et al., 1985). Por outro lado, perdas por desnitrificação e/ou volatilização podem subestimar esta mineralização, embora Terry et al. (1981) tenham encontrado perdas inferiores a 0,1% quando o lodo foi incorporado ao solo.

Antes da instalação desses experimentos, é necessário dispor-se de um razoável período de tempo para avaliações preliminares e/ou correções de algumas propriedades de solo, a seguir detalhadas. A acidez das amostras de solo em que avalia-se a mineralização do lodo deve ser previamente corrigida, o que também deve ser feito na área de produção (campo). Isto porque a maioria dos solos brasileiros é ácida, e lodos de esgotos são potencialmente acidificantes do solo quando não são alcalinizados. Este cuidado visa diminuir riscos ambientais de contaminação, sendo recomendado que o pH em água deve ser mantido no mínimo a 5,3 para aplicação de resíduos em solos ácidos de clima tropical (Mattiazzo-Prezotto, 1994). Para isso, deve ser adequadamente previsto o tempo necessário para a obtenção de curvas de neutralização em laboratório (um a três meses), com as quais determina-se a quantidade de corretivo que será aplicada. Aplica-se então o corretivo de acidez, na dosagem estipulada, às amostras do solo a ser utilizado no experimento de mineralização, as quais são mantidas em condições de umidade adequadas e durante tempo suficiente para que as reações de neutralização ocorram. Também são necessários vários dias para avaliação da capacidade de campo, determinada em painéis de Richards ou em mesa de tensão, visando-se estipular a umidade adequada a ser mantida no solo durante a incubação.

Considerando-se o lodo de esgoto, a amostragem do monte de onde é retirado o material a ser aplicado em campo deve ser bastante cuidadosa, em função das diferenças pontuais nos teores de N inorgânico, que sofre muitas alterações, e que podem ocorrer entre a superfície e a parte interna desses montes, ou ainda nas várias alturas no perfil dos mesmos (Carneiro et al., 2003), especialmente quando ocorre precipitação intensa, ou o resíduo encontra-se armazenado há bastante tempo. Coletadas as amostras de lodo de esgoto, deve-se proceder às análises de N no material ainda úmido, pois a aplicação do lodo de esgoto em campo é feita com o resíduo úmido, nas condições atuais brasileiras. Os resultados, porém, são expressos em base seca. Para a incubação em laboratório, a amostra de lodo é secada antes de ser analisada. A utilização de amostra úmida é praticamente impeditiva à adequada homogeneização com o solo, em virtude das pequenas quantidades utilizadas e dificultando as amostragens necessárias no decorrer da incubação. A secagem é feita à sombra e ao ar livre, e é bastante lenta, com tendência a formar crostas externas nos grumos,

os quais mantêm-se úmidos internamente. De modo geral, a secagem de lodos anaeróbios úmidos estocados há pouco tempo reduz sensivelmente seu teor relativo de N, principalmente na forma amoniacal. No exemplo da Tabela 1, observa-se que o teor de N amoniacal presente na amostra ainda muito úmida foi de 1,0%; após a secagem do resíduo ao ar livre, esse teor foi reduzido para 0,3%, com pouca variação no teor de nitrato. No caso de condições ambientais favoráveis e longa estocagem, podem prevalecer perdas de outras formas de N, como lixiviação de nitrato, por exemplo.

Dadas essas diferenças entre o lodo de esgoto aplicado em campo, que em geral possui elevado teor de água, e o lodo utilizado em experimentos de mineralização em laboratório (com teor de água muito baixo, para permitir homogeneização adequada com o solo), os dados obtidos em laboratório não permitem que se façam correlações diretas quanto ao comportamento que o lodo apresenta nas duas situações. Isto porque se forem aplicadas em um solo mesmas quantidades de lodo de esgoto, mas com umidades diferentes, o resíduo disponibilizará diferentes quantidades de N, pois é muito variável a composição relativa das diversas formas de N entre os lodos úmidos e os lodos secos, como mostra o exemplo da Tabela 1.

Tabela 1. Teor de água e teores de N-Kjeldahl e de N-NH₄⁺ determinados em amostras com elevado teor de água (lodo úmido) e com baixo teor de água (lodo seco) em lodo de esgoto coletado no ano de 2000 na estação de tratamento de esgoto de Franca/SP, Brasil.

	Teor de água [*] %	N-Kjeldahl ^{**} mg/kg	N-NH ₄ ⁺ ^{**} mg/kg	N-(NO ₃ ⁻ + NO ₂ ⁻) ^{**} mg/kg
Lodo úmido	384,7	68,182	10,253	101
Lodo seco	6,3	51,128	3,340	122

^{*} Valores expressos em base seca (g de água por 100g de lodo seco).

^{**} Valores expressos em base seca (mg de N por kg de lodo de esgoto seco).

No processo de secagem do lodo de esgoto, podem-se formar grumos grandes e bastante firmes, tornando-se necessário o peneiramento da amostra. A influência do tamanho das partículas sobre a mineralização de N orgânico de lodo de esgoto foi avaliada experimentalmente em incubação anaeróbia, obtendo-se os dados da Tabela 2. Observa-se que a produção de N inorgânico não foi afetada pelo tamanho de partícula (1 ou 2 mm) quando o resíduo foi aplicado ao solo em doses bastante elevadas (10 Mg/ha ou mais). No entanto, houve efeito significativo para a dose de 5 Mg/ha. Ressalte-se que, para este lodo, oriundo da cidade de Franca/SP, Brasil, as doses agrônomicas recomendadas para cultivo de milho não têm ultrapassado 5 Mg/ha (base seca), em experimento que vem sendo conduzido em Latossolo, no campo, há quatro anos. Com aplicação de doses mais elevadas do que as recomendações técnicas (Cetesb, 1999), há alto risco do lodo liberar maior quantidade

de de N no solo do que as plantas são capazes de absorver. Portanto, o grau de peneiramento do lodo é um fator a ser considerado no experimento de incubação, pois utilizando-se grandes grumos do resíduo pode-se subestimar seu potencial de mineralização de N.

Tabela 2. Influência do tamanho da malha de peneiramento de lodo de esgoto coletado em 1999 na estação de tratamento de esgoto de Franca/SP, Brasil, incubado com latossolo em condições anaeróbicas durante sete dias, sobre o teor de N- NH_4^+ produzido (médias de três repetições).

Dose de lodo de esgoto (Mg/ha)	Peneira 1mm	Peneira 2mm
	N- NH_4^+ (mg/kg)*	
0	13 a**	8 a
5	31 a	15 b
10	39 a	36 a
20	60 a	63 a
40	101 a	100 a
80	216 a	282 a

* Valores expressos em base seca (mg de N por kg de lodo de esgoto seco).

** Médias seguidas de mesma letra, nas linhas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan a 5%.

Na instalação e condução das incubações, vários outros fatores atuam. Na incubação aeróbia de misturas [solo + lodo de esgoto] durante certo período, as avaliações de N mineral produzido ao longo do tempo podem ser feitas através de extrações periódicas do solo (sem lixiviação) ou através da coleta periódica da solução percolada em uma coluna (com lixiviação).

Na incubação aeróbia sem lixiviação, as pequenas doses de lodo que são utilizadas (1 a 30 g de lodo de esgoto por kg de solo) são de difícil homogeneização, levando a problemas de amostragem, em especial nos primeiros dias do experimento. Há necessidade de correção das massas de solo e de lodo a serem pesadas, para cada tratamento, em função da umidade atual e da umidade determinada após secagem a 105°C durante 24 horas. Após a composição dos tratamentos, que consistem em várias doses de lodo aplicadas ao solo, os mesmos devem ser umedecidos, por pesagem, para elevação da umidade à capacidade de campo. No decorrer do experimento, a temperatura e umidade do ar podem ser controladas, além da umidade nos tratamentos, que deve ser mantida e controlada por pesagens frequentes. Outros fatores a considerar, no caso de utilização de microcosmos com os tratamentos, são o tamanho de cada unidade experimental, bem como a possibilidade de homogeneização periódica dos tratamentos. Com relação ao tamanho, o microcosmo deverá ser suficientemente grande para permitir que haja material suficiente para todas as amostragens que serão feitas no decorrer da incubação, pois a amostragem periódica reduz a quantidade da mistura [solo + lodo de esgoto] nos mesmos. Observe-se ainda que, a cada amostragem, a quantidade de água a ser repostada deve ser recalculada. Quanto à reposição de água, esta pode causar

encrostamento superficial do solo nas parcelas experimentais, prejudicando as trocas gasosas, de grande influência no comportamento que se está observando, isto é, a mineralização de N do lodo de esgoto.

O tempo de duração do experimento pode ser de longo prazo (acima de 90 dias), pois apesar do N orgânico de lodos de esgoto apresentar maior velocidade de mineralização no início da incubação, o processo é contínuo (Fig. 1), com decréscimo da taxa de mineralização até sua estabilização (Parker & Sommers, 1983; Banerjee et al., 1997). Em conseqüência, o fator tempo deve ser considerado no momento da calibração entre os resultados obtidos em laboratório e o comportamento esperado em campo.

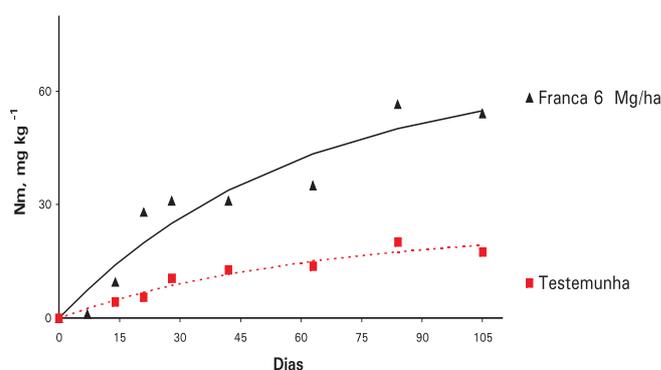


Fig. 1. Variação líquida de N inorgânico (Nm) em Latossolo incubado durante 105 dias com 6 Mg/ha de lodo de esgoto coletado em 1999 na estação de tratamento de esgoto de Franca/SP e sem aplicação de lodo (testemunha), com ajuste dos dados ao modelo exponencial simples (Stanford & Smith, 1972).

Com os dados experimentais coletados, o comportamento observado poderá ser descrito ajustando-se os dados obtidos a diversos modelos matemáticos empíricos utilizados na descrição da mineralização de N (Stanford & Smith, 1972; Molina et al., 1980; Ellert & Bettany, 1988; etc), os quais poderão ser comparados através de critérios estatísticos, para escolha do mais adequado à situação em estudo, obtendo-se a taxa de mineralização e a fração de mineralização potenciais do resíduo, entre outros parâmetros.

Na incubação aeróbia com lixiviação, deve-se considerar os mesmos pontos já referidos para a incubação sem lixiviação, no tocante ao preparo das amostras de solo e de lodo de esgoto. Em solos argilosos, pode-se utilizar areia ou outro material inerte que deve ser adicionado às misturas [solo + lodo de esgoto] com o objetivo de garantir adequada aeração nas colunas. No caso de areia, esta deverá ser adequadamente lavada com ácido e tratada em mufla a altas temperaturas (450-500° C durante 3-5 horas), visando-se eliminar quaisquer resquícios de matéria orgânica que possam interferir nos dados experimentais, e peneira-

da. A melhor relação areia/[solo + lodo] a ser utilizada no experimento deverá ser previamente determinada, bem como deve-se avaliar qual a pressão a aplicar nas colunas, e durante quanto tempo, para retirada do excesso de solução que é retida no solo, a fim de restaurarem-se as condições de aerobiose a cada lixiviação, mantendo-se os tratamentos em capacidade de campo. A solução de lixiviação a aplicar também pode ser previamente avaliada, definindo-se qual a quantidade a aplicar, em função do tamanho da coluna e do tempo de lixiviação, e qual a concentração a utilizar, em função do que se espera extrair de N mineral. O volume de solução lixiviada recolhida é, freqüentemente, levemente distinto entre as colunas, dadas as dificuldades de perfeita homogeneização dos tratamentos durante o empacotamento das colunas, mesmo entre as repetições de um mesmo tratamento, devendo ser portanto criteriosamente avaliado por meio de pesagens. Nos cálculos, devem também ser consideradas as perdas de solo das colunas, as quais ocorrem a cada lixiviação, em função do arraste de partículas finas, o que pôde ser verificado com latossolo, onde constataram-se perdas percentuais por arraste de até 3,5% da massa de [solo + lodo] da coluna.

O alto custo das incubações aeróbias e o longo tempo necessário até a obtenção do percentual de N potencialmente mineralizável no resíduo das estações de tratamento de esgoto é, sem dúvida, um fator limitante a seu emprego generalizado em projetos agrícolas que visem a utilização ambientalmente segura de lodos de esgotos. Isto é reforçado pela variação que pode ocorrer nos diversos lotes produzidos em cada estação de tratamento, bem como nas diferentes épocas do ano, acarretando a necessidade de um número ainda maior de determinações das taxas de mineralização. A incubação anaeróbia, conduzida durante sete dias e que requer duas determinações, apenas, de N amoniacal (no início e no final do experimento) (Bundy & Meisinger, 1994), pode tornar-se uma metodologia alternativa, menos onerosa e mais rápida, para se trabalhar com lodo de esgoto.

Considerando-se a influência das diversas variáveis experimentais, conclui-se que é de interesse técnico a padronização dos procedimentos de determinação da fração de mineralização de N orgânico de lodos de esgoto, após avaliação das metodologias existentes e utilizando-se vários solos, representativos de regiões brasileiras.

Referências

- BANERJEE, M.R.; BURTON, D.L.; DEPOE, S. Impact of sewage sludge application on soil biological characteristics. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.66, n.3, p.241-249, 1997.
- BUNDY, L.G.; MEISINGER, J.J. Nitrogen availability indices. In: WEAVER, R. W.; ANGLE, S.; BOTTOMLEY, P.; BEZDICEK, D.; SMITH, S.; TABATABAI, A.; WOLLUM, A. (Ed.). *Methods of soil analysis*. Part 2. Microbiological and biochemical properties. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p.951-984.
- CARNEIRO, C.; SOTTOMAIOR, A.P.; V.ANDREOLI, C. Estudo da dinâmica de nitrogênio em perfil de lodo de esgoto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto, SP. *Anais...* Brasília: SBCS, 2003. CD-ROM.
- CETESB. **Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas: critérios para projeto e operação**. São Paulo: CETESB, 1999. 32 p. (CETESB. Manual Técnico, P 4.230).
- ELLERT, B.H.; BETTANY, J.R. Comparison of kinetic models for describing net sulfur and nitrogen mineralization. *Soil Science Society of America Journal*, v.52, p.1692-1702, 1988.
- HSIEH, Y.P.; LOWELL, A.D.; MOTTO, H.L. Modeling sewage sludge decomposition in soil: II. Nitrogen transformations. *Journal of Environmental Quality*, v.10, n.1, p.59-64, 1981.
- KIEFT, T.L.; SOROKER, E.; FIRESTONE, M.K. Microbial biomass response to a rapid increase in water potential when dry soil is wetted. *Soil Biology and Biochemistry*, v.19, p.119-126, 1987.
- MATTIAZZO-PREZOTTO, M.E. **Comportamento de cobre, cádmio, cromo, níquel e zinco adicionados a solos de clima tropical em diferentes valores de pH**. 1994. 197p. Tese (Livre-Docência) - ESALQ-USP, Piracicaba, 1994.
- MOLINA, J.A.E.; CLAPP, C.E.; LARSON, W.E. Potentially mineralizable nitrogen in soil: the simple exponential model does not apply for the first 12 weeks of incubation. *Soil Science Society of America Journal*, v.44, p.442-443, 1980.
- PARKER, C.F.; SOMMERS, L.E. Mineralization of nitrogen in sewage sludges. *Journal of Environmental Quality*, v.12, n.1, p.150-156, 1983.
- ROSS, D.J.; SPEIR, T. W.; TATE, K. R.; ORCHARD, V.A. Effects of sieving on estimations of microbial biomass, and carbon and nitrogen mineralization, in soil under pasture. *Australian Journal of Soil Research*, v.23, p.319-324, 1985.

SIKORA, L.J.; YAKOVCHENKO, V. Soil organic matter mineralization after compost amendment. **Soil Science Society of America Journal**, v.60, n.5, p.1401-1404, 1996.

STANFORD, G. Extractable organic nitrogen and nitrogen mineralization in soils. **Soil Science**, v.106, n.5, p.345-351, 1968.

TERRY, R.E.; NELSON, D.W.; SOMMERS, L.E. Nitrogen transformation in sewage sludge-amended soils as affected by soil environmental factors. **Soil Science Society of America Journal**, v.45, n.3, p.506-513, 1981.

Comunicado Técnico, 27

Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento



Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:

Embrapa Meio Ambiente

Endereço: Rodovia SP-340 - Km 127,5

Tanquinho Velho - Caixa Postal 69

Cep.13820-000 - Jaguariúna, SP

Fone: (19) 3867-8700

Fax: (19) 3867-8740

E-mail: sac@cnpma.embrapa.br

1ª edição

Comitê de editoração

Presidente: *Ladislau Araújo Skorupa*

Secretário-Executivo: *Sandro Freitas Nunes*

Membros: *Heloisa Ferreira Filizola; Manoel Dornelas de*

Souza; Cláudio César de Almeida Buschinelli; Maria

Conceição Peres Young Pessoa; Osvaldo Machado R.

Cabral; Marta Camargo de Assis

Normalização Bibliográfica: *Maria Amélia de Toledo*

Editoração Eletrônica: *Silvana Cristina Teixeira*