



VII Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2013  
13 a 15 de agosto de 2013 – Campinas, São Paulo

**MINERALIZAÇÃO DO NITROGÊNIO DE LODO DE ESGOTO APÓS APLICAÇÃO  
NO SOLO**

Guilherme Rueda **Camargo**<sup>1a</sup>; Cristiano Alberto de **Andrade**<sup>2b</sup>; Nadiane A. P. de **Souza**<sup>3c</sup>;  
Adriana M. M. **Pires**<sup>2c</sup>; Victor Luiz F. de **Siqueira**<sup>4c</sup>.

<sup>1</sup> Faculdade de Ciências Biológicas - PUCCAMP; <sup>2</sup> Embrapa Meio Ambiente;  
<sup>3</sup>Instituto Agrônômico de Campinas; <sup>4</sup> Faculdade de Engenharia Florestal - UNESP.

**Nº 13405**

**RESUMO** - *Lodos de esgoto podem ser reciclados em solo agrícola para fornecimento de nutrientes às plantas, principalmente nitrogênio (N), cuja concentração média nesse tipo de resíduo é de 2 a 4%. O presente trabalho teve como objetivo estudar a mineralização do nitrogênio aplicado no solo via doses de lodo de esgoto. O lodo de esgoto foi aplicado na área experimental da Embrapa Meio Ambiente entre os anos de 1999 e 2010, sendo a última aplicação em 2012. Foram testadas doses de lodo para fornecimento de 120, 240, 480 e 960 kg ha<sup>-1</sup> de N, além de controle (0N). Tubos de PVC foram inseridos no solo (0 - 20 cm) e posteriormente retirados em duas épocas para quantificação do N inorgânico. No tempo inicial de avaliação os teores de amônio foram superiores aos de nitrato e após 45 dias estes se aproximaram. O amônio aumentou linearmente com a dose de lodo, enquanto o nitrato variou no tempo, com incremento de 407 mg kg<sup>-1</sup> de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> em 45 dias. A taxa de mineralização do N do lodo nesse período foi igual a 92% do total de N aplicado, ou seja, houve disponibilidade excessiva de N em comparação com a demanda pelo milho.*

**Palavras-chaves:** matéria orgânica do solo, milho, disponibilidade de nitrogênio.

<sup>a</sup>Bolsista CNPq: Graduação em Ciências Biológicas, guirc\_90@hotmail.com , <sup>b</sup> Orientador, <sup>c</sup> Colaborador.



**ABSTRACT-** Sewage sludge can be recycled in agricultural soils as nutrient supply for plants, mainly nitrogen (N), which the average concentration in this type of residue is 2 to 4%. The present work had as objective the study of nitrogen mineralization applied through doses of sewage sludge to the ground. The sewage sludge was applied in experimental area of Embrapa Meio Ambiente between the years of 1999 and 2010, having the last application in 2012. Doses of sludge were tested for the provision of 120, 240, 480 and 960 kg ha<sup>-1</sup> of N, in addition to control (0N). PVC tubes were inserted on the ground (0 – 20 cm) and removed in two different moments to quantify the inorganic N. On the evaluation period, during the initial phases, the amount of ammonium were higher than the nitrate and after 45 days they were similars. Ammonium increased linearly with the dose of sludge, while the nitrate varied with time, with an increment of 407 mg kg<sup>-1</sup> N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> in 45 days. The nitrogen mineralization rate of sludge during this period was equal to 92% of the total N applied which means an excessive availability of N when comparing to the demand by corn.

**Key-words:** soil organic matter, Zea mays, nitrogen availability.

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e a concentração de pessoas em centros urbanos têm contribuído para a geração localizada de volumes consideráveis de resíduos, cuja disposição final no ambiente deve ser planejada.

Políticas de incentivo ao saneamento nos municípios brasileiros vêm facilitando a implementação de sistemas de coleta e tratamento de águas residuárias, com destaque para as Estações de Tratamento de Esgotos (ETE).

O tratamento de águas residuárias antes do lançamento em corpos d'água é prática crescente e fundamental para manutenção da qualidade dos recursos hídricos (BOEIRA et. al., 2002). Após esse tratamento há geração de resíduo denominado lodo de esgoto, cuja disposição final é problemática, principalmente em função dos volumes gerados e custos associados (condicionamento/secagem, transporte, etc.) (GONÇALVES, 2005).

Diversas pesquisas vêm sendo realizadas para viabilização de alternativas ao aterramento do lodo, prática atualmente mais difundida no Brasil, mas que tem os dias contados em função da “Política Nacional de Resíduos Sólidos” recém implantada no país (BRASIL, 2010). De acordo com essa política pública só será permitida o envio deste para aterros sanitários após o reaproveitamento do mesmo, visando à minimização de impactos ambientais.



## VII Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2013

13 a 15 de agosto de 2013 – Campinas, São Paulo

Uma das alternativas ambientalmente mais aceitáveis é a reciclagem do lodo no solo agrícola, aumentando a disponibilidade de nutrientes para as plantas e melhorando as condições físicas, químicas e biológicas do solo, em função de seu conteúdo orgânico (BOEIRA et. al., 2002).

No entanto, para o uso agrícola desse resíduo devem-se atender os critérios e procedimentos definidos na Resolução N° 375 (CONAMA, 2006).

Como os lodos de esgotos são ricos em N orgânico, a geração de nitrato é um fator que limita a dose a ser aplicado no solo (BOEIRA, 2004). A recomendação da dose é feita considerando-se o teor de N do lodo, a taxa de mineralização do nitrogênio (TMN) e a necessidade da cultura em N.

A mineralização refere-se ao processo biológico em que o N orgânico é convertido em N inorgânico, sendo este processo dependente de fatores climáticos, físicos e biológicos (DA CAS, 2009).

Entende-se como N disponível do lodo o somatório do N na forma de nitrito ( $N-NO_2^-$ ), nitrato ( $N-NO_3^-$ ) e amônio ( $N-NH_4^+$ ), além do N orgânico passível de ser mineralizado durante certo período de tempo (ciclo da cultura ou ano) (CETESB, 1999; CONAMA, 2006).

Tanto a Norma Técnica P.4230 (CETESB, 1999), quanto a Resolução 375 do CONAMA (CONAMA, 2006) preconizam a determinação da TMN a partir de método biológico ou simplesmente a adoção de valor fixo em função do processo gerador do lodo. Esse valor fixo poderá contribuir para uma maior taxa de disponibilização de N em áreas com sucessivas aplicações de lodo, pois o remanescente do resíduo aplicado continua mineralizando.

Dessa forma, torna-se importante o estudo da dinâmica da mineralização de N nos solos tratados com lodos de esgoto, para determinação da dose máxima a ser aplicada ao solo periodicamente.

O presente trabalho teve como objetivo estudar a mineralização do nitrogênio aplicado no solo via doses de lodo de esgoto para posterior aprimoramento do sistema de recomendação visando o fornecimento de N às plantas.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Embrapa Meio Ambiente (latitude 22°41'S, longitude 47°W), localizada no município de Jaguariúna, SP. A área experimental foi estabelecida em 1999 e recebeu aplicações de doses de lodo de esgoto até o ano de 2010. O lodo foi obtido junto à Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) do município de Franca, SP, em que o esgoto é de origem predominantemente domiciliar. O solo é classificado como Latossolo Vermelho distroférrico de



## VII Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2013 13 a 15 de agosto de 2013 – Campinas, São Paulo

textura argilosa (EMBRAPA, 2006). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com 3 repetições e 6 tratamentos (BETTIOL & GHINI, 2011). Cada parcela possui 200 m<sup>2</sup> de área (10 x 20 m).

Na presente pesquisa foram considerados os tratamentos com lodo de esgoto, em que a definição da dose referência (1N) de lodo para aplicação foi baseada no teor de N do lodo (2,9%), na taxa de mineralização do nitrogênio (30% - segundo Resolução nº 375 do CONAMA) e no fornecimento de 120 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N para a cultura do milho. As demais doses testadas corresponderam 2, 4 e 8 vezes a dose referência (2N, 4N e 8N, respectivamente), além do controle sem lodo (0N). Todos os tratamentos receberam adubação mineral com KCl.

Em 2012 essas parcelas voltaram a receber lodo, porém da ETE de Jundiaí, SP, cuja origem do esgoto também é domiciliar. Em cada parcela foi delimitada subparcela de 4 x 7 m que não recebeu reaplicação do resíduo. As doses foram calculadas como nos anos anteriores.

O método descrito em Adams & Attiwill (1986) que utiliza tubos de PVC foi o utilizado para quantificação da mineralização do N no solo a 0 – 20 cm de profundidade.

O método fundamenta-se na colocação de conjuntos de três tubos de PVC com 25 cm de comprimento e 5,3 cm de diâmetro, cuja porção inferior de 20 cm fica enterrada no solo. Dois dos tubos estavam com a parte superior aberta, permitindo entrada de água da chuva, e o terceiro tubo teve a porção superior fechada, impedindo a entrada de água da chuva. Todos os tubos tem dois furos nas laterais, a aproximadamente 5 cm da superfície do solo, para permitir as trocas gasosas. Nas subparcelas experimentais (sem reaplicação de lodo) foram instalados dois conjuntos de tubos.

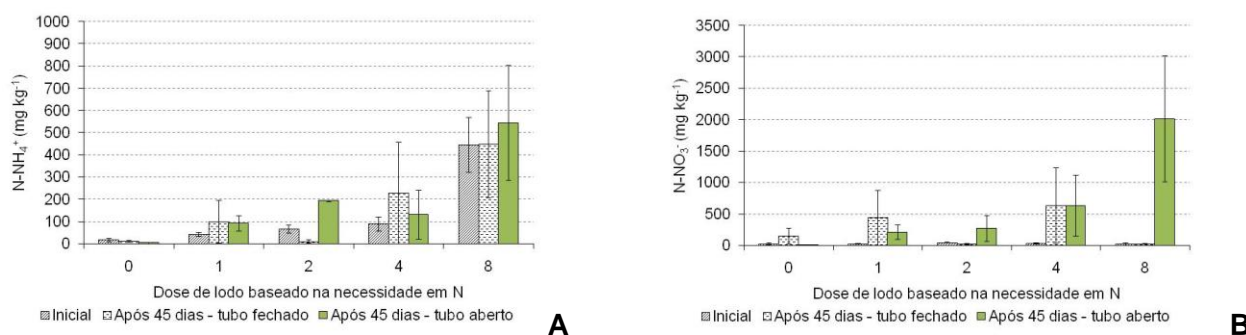
A instalação dos tubos de PVC ocorreu nos dias 03 e 04 de janeiro de 2013, cerca de 20 dias após a aplicação e incorporação do lodo nas parcelas e 7 dias após a semeadura do milho. Logo em seguida à instalação, um dos tubos com extremidade superior aberta de cada conjunto foi retirado para caracterizar o tempo zero. Os outros dois tubos de cada conjunto ficaram no campo por 45 dias, após os quais também foram retirados do campo e novos conjuntos foram instalados para continuidade das avaliações, mas cujos resultados não foram tratados neste documento.

As amostras de solo foram retiradas do interior dos tubos ainda no campo, homogeneizadas e tomada subamostra mantida congelada até o momento das análises no laboratório. Os teores de N na forma de amônio (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) e nitrato (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) foram extraídos por solução de KCl 1 mol L<sup>-1</sup> e quantificados por titulação após destilação a vapor, conforme descrito em Cantarella & Trivelin (2001).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de amônio e nitrato no solo apresentaram-se semelhantes após os primeiros 45 dias, mas inicialmente houve predominância do amônio (Figura 1).

Com o decorrer do tempo, de modo geral, houve aumento do amônio e nitrato, o que significa mineralização do N do solo (0N) e do lodo no período inicial avaliado. Conforme Andrade et al. (2006), a participação do compartimento protéico na mineralização de compostos orgânicos do lodo aumenta com o tempo e o máximo de mineralização destes compostos foi em torno dos 45 dias após a aplicação no solo, porém sob condições não limitantes de umidade e temperatura. Na maior dose de lodo aplicada, os teores médios de amônio e nitrato aos 45 dias alcançaram valores da ordem de 500 e 2000 mg kg<sup>-1</sup> de N, respectivamente (Figura 1).



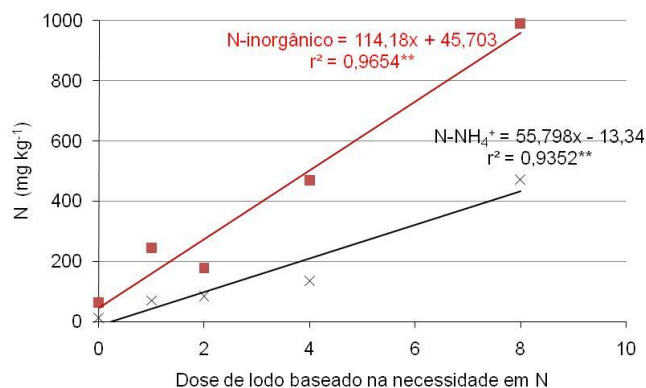
**Figura 1** – Teores de amônio (A) e nitrato (B) no solo, 0 – 20 cm de profundidade, em dois tempos de avaliação após a incorporação de doses de lodo correspondentes a 0, 1, 2, 4 e 8 vezes o N recomendado para a cultura do milho. Tubos aberto e fechado significam, respectivamente, exposto e não exposto à precipitação pluviométrica.

A expectativa com relação ao método utilizado para estudar a mineralização do N no campo era de que os tubos com a parte superior fechada exibiriam teores de N inorgânico maiores do que os tubos com a porção superior aberta, tendo em vista que nestes últimos, parte do N inorgânico poderia ser perdida por lixiviação. No entanto, os tubos com extremidade aberta, em média, apresentaram maiores teores de N nas formas de amônio e nitrato, comparativamente com os tubos fechados e, além da variabilidade natural dessas medidas (Figura 1), tal comportamento pode ser função da baixa pluviosidade no período (63 mm) e alta taxa de evapotranspiração (78 mm) (CEPAGRI, 2013), o que limitou a atividade microbiana nos tubos com a parte superior fechada. Dessa forma, optou-se por trabalhar com a média entre tubos aberto e fechado para estimar a mineralização do N comparativamente a amostragem inicial do solo.

O amônio no solo foi influenciado pelas doses de lodo (Figura 2), mas não pelo tempo, evidenciando comportamento linear de aumento.



VII Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2013  
13 a 15 de agosto de 2013 – Campinas, São Paulo



**Figura 2** – Teores de amônio e N-inorgânico (amônio + nitrato) no solo, 0 – 20 cm de profundidade em função da dose de lodo de esgoto aplicada. Doses correspondentes a 0, 1, 2, 4 e 8 vezes o N recomendado para a cultura do milho.

O nitrato variou com o tempo, com valor inicial de  $31 \text{ mg kg}^{-1}$  de  $\text{N-NO}_3^-$  e aos 45 dias com valor médio igual a  $438 \text{ mg kg}^{-1}$ , ou seja, com incremento de cerca de  $400 \text{ mg kg}^{-1}$  do elemento na forma nítrica. A não verificação de efeito para nitrato com as doses de lodo se deve em parte, a variabilidade natural das medidas, que pode ser observada por meio das barras de erro padrão da média apresentadas na Figura 1 B.

Os valores de amônio e nitrato quando somados e tratados como N-inorgânico, há efeito de doses (Figura 2) e tempo. Para cada dose de lodo calculada em função da necessidade de N da cultura e considerando-se uma taxa de mineralização de 30%, houve incremento de  $114 \text{ mg kg}^{-1}$  de N-inorgânico na camada 0 – 20 cm de profundidade (Figura 2). Considerando-se que também houve incremento de  $\text{N-NH}_4^+$  de  $56 \text{ mg kg}^{-1}$  com a dose, calcula-se que a diferença para o incremento de N-inorgânico seja correspondente ao nitrato formado, ou seja aproximadamente  $58 \text{ mg kg}^{-1}$  do  $\text{N-NO}_3^-$  para cada acréscimo de dose de lodo de esgoto. Dessa forma, aparentemente a amonificação e nitrificação operaram no solo a taxas semelhantes, sendo o amônio formado na primeira etapa da mineralização (amonificação) utilizado como o substrato para a segunda etapa (nitrificação).

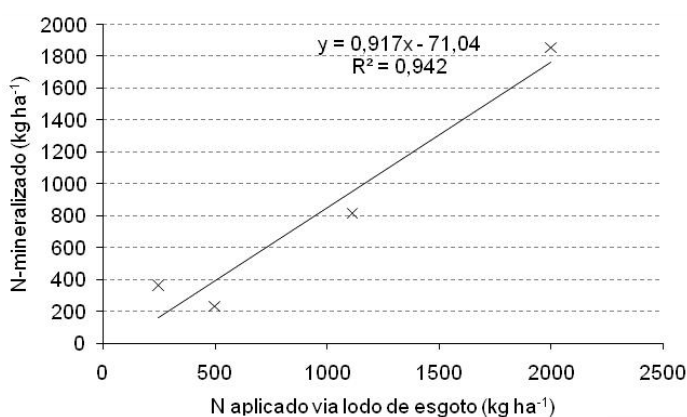
À semelhança do ocorrido para o nitrato, os teores de N-inorgânico também variaram com o tempo, com aumento de  $453 \text{ mg kg}^{-1}$  em 45 dias. Por meio das diferenças entre N-inorgânico e  $\text{N-NO}_3^-$  no tempo zero e aos 45 dias, calculou-se que os teores de amônio no solo foram iguais a 92% e 29%, respectivamente. Dessa forma, o amônio foi a principal forma inorgânica de N nos primeiros 20 dias após aplicação do lodo e o nitrato, provavelmente formado na nitrificação,



VII Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2013  
13 a 15 de agosto de 2013 – Campinas, São Paulo

aumentou gradativamente nos 45 dias que se seguiram, predominando no solo ao final desse período.

A taxa de mineralização do N do lodo em curto prazo para o crescimento do milho é um parâmetro importante, pois na adubação com este resíduo a adição ao solo é feita em dose única e não parcelada como normalmente se faz com a fertilização mineral. Descontando-se o N-inorgânico no solo sem lodo (dose zero) dos valores verificados nas parcelas com o resíduo, obteve-se o N-inorgânico proveniente da mineralização do lodo e os valores calculados em quilogramas por hectare, tanto do N aplicado como do N mineralizado do resíduo são mostrados na Figura 3.



**Figura 3** – Correlação estatística entre o N aplicado no solo com as doses de lodo de esgoto e o N mineralizado no período inicial de crescimento do milho.

O coeficiente angular da reta ajustada aos dados da Figura 3 corresponde a taxa de mineralização do N do lodo de esgoto, que foi igual a 91%. Moretti et al. (2013) verificaram para um lodo de esgoto valores de taxa de mineralização variando de 18 a 69% em 147 dias de incubação com amostras de um Nitossolo.

#### 4 CONCLUSÃO

1. A taxa de mineralização do N do lodo nos primeiros 65 dias após a aplicação foi igual a 92%, muito superior ao valor de 30% recomendado na Resolução nº 375 do CONAMA para esse tipo de resíduo.

2. Em função da taxa de mineralização do N do lodo e do cálculo da dose de referência, houve excesso de N se comparado à demanda da cultura.





## 5 AGRADECIMENTOS

Ao CNPq – PIBIC, pela bolsa concedida, e à Embrapa Meio Ambiente pelas condições para realização da pesquisa.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, M. A.; ATTWILL, P. M. Nutrient cycling and nitrogen mineralization in eucalypt forests of south-eastern Australia II. Indices of nitrogen mineralization. **Plant and Soil**, v.92, n.3, p. 341 -362, 1986.

ANDRADE, C.A.; OLIVEIRA, C.; CERRI, C.C. Degradation kinetics of biosolids organic matter after soil application and its relationship with initial composition. **Bragantia**, v.65, p.659-668, 2006.

BETTIOL, W. AND GHINI, R. "Impacts of Sewage Sludge in Tropical Soil: A Case Study in Brazil," **Applied and Environmental Soil Science**, vol. 2011, Article ID 212807, 11 pages, 2011.

BOEIRA, R.C.; LIGO, M.A.V.; DYNIA, J.F. Mineralização de nitrogênio em solo tropical tratado com lodos de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.1639-1647, 2002.

BOEIRA, R. C. **Uso de lodo de esgoto como fertilizante orgânico: disponibilização de nitrogênio em solo tropical**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004. (Comunicado Técnico, 12)

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], Brasília, n. 147, p. 3, 03 de agosto de 2010. Seção 1.

CEPAGRI, "Clima dos municípios paulistas: Jaguariúna,"Campinas,SP. Jul 2013. **Disponível em:** <[http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima\\_muni\\_283.html](http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_283.html)>. **Acesso em:** 13 de julho de 2013.

CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). Aplicação de biossólidos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas – Critérios para projeto e operação: manual técnico. São Paulo, 1999. 33p.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 375, de 29 de Agosto de 2006. **Disponível em:** <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>>. **Acesso em:** 10 de maio de 2013.

DA CAS, Vera Lúcia Simon. **Mineralização do Carbono e do Nitrogênio no solo com o uso de lodo de esgoto e palha de aveia**. 2009. 68f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) Pós-Graduação – UFSM

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

GONÇALVES, F. T. de A. **Dinâmica do nitrogênio em solo tratado com lodo de esgoto e cultivado com café**. 2005. 73f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical/ Gestão dos Recursos Agroambientais) – Instituto Agronômico de Campinas (IAC), Campinas, 2005.

MORETTI, S.M.L.; BERTONCINI, E.I.; ABREU-JÚNIOR, C.H. Aplicação do método de mineralização de nitrogênio com lixiviação para solo tratado com lodo de esgoto e composto orgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p.622-631, 2013.