



DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n6p534-540>

## Mineralização e nitrificação do nitrogênio proveniente da cama de aves aplicada ao solo<sup>1</sup>

Douglas A. Rogeri<sup>2</sup>, Paulo R. Ernani<sup>3</sup>, Késia S. Lourenço<sup>4</sup>, Paulo C. Cassol<sup>3</sup> & Luciano C. Gatiboni<sup>3</sup>

<sup>1</sup> O artigo é parte da dissertação de Mestrado do primeiro autor apresentada à Universidade Estadual de Santa Catarina

<sup>2</sup> FAI Faculdades. Itapiranga, SC. E-mail: [douglasrogeri@hotmail.com](mailto:douglasrogeri@hotmail.com)

<sup>3</sup> Departamento de Solos/Universidade Estadual de Santa Catarina. Lages, SC. E-mail: [paulorobertoernani@gmail.com](mailto:paulorobertoernani@gmail.com) (Autor correspondente); [paulo.cassol@udesc.br](mailto:paulo.cassol@udesc.br); [lgatiboni@gmail.com](mailto:lgatiboni@gmail.com)

<sup>4</sup> Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical/Instituto Agronômico de Campinas. Campinas, SP. E-mail: [skesia@hotmail.com](mailto:skesia@hotmail.com)

### Palavras-chave:

resíduos animais  
N orgânico  
método de aplicação de adubos

### RESUMO

A eficiência fertilizante da cama de aves depende da capacidade de mineralização de seus nutrientes que se encontram na forma orgânica. O potencial poluente deste resíduo, por outro lado, depende, dentre outros fatores, da rapidez da nitrificação dos compostos nitrogenados. O presente estudo objetivou quantificar a mineralização líquida e a nitrificação do N presente na cama de aves após sua aplicação em um Cambissolo Húmico álico. Os tratamentos consistiram na incubação com o solo de doses de cama (equivalente a 0; 4; 8; 16 Mg ha<sup>-1</sup>) e uma dose de ureia (204 kg ha<sup>-1</sup> de N), todas incorporadas ou aplicadas sobre a superfície do solo. Determinaram-se os teores de amônio e nitrato no solo aos 2, 6, 12, 19, 26, 32 e 48 dias após o início da incubação. Os teores de amônio diminuíram e os de nitrato aumentaram com o tempo de incubação em função do processo de nitrificação; esta conversão foi mais rápida quando a cama de aves foi incorporada ao solo em relação à aplicação na superfície. A recuperação do N da cama de aves na forma mineral foi pequena, independentemente da forma de aplicação ao solo, com valores que decresceram em função da dose de 22,0 para 15,7% para as doses 4 e 16 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, aos 48 dias de incubação.

### Key words:

animal waste  
organic nitrogen  
methods of fertilizer application

## Mineralization and nitrification of nitrogen from poultry litter applied to soil

### ABSTRACT

The fertilizer or pollutant effect of the nitrogen present in animal wastes depends on the mineralization of the organic N forms as well as nitrification, in addition to other factors. The objective of this study was to quantify both mineralization and nitrification rates of N applied to the soil from poultry litter. The experiment was carried out in a greenhouse using samples of a Humic Haplumbrept containing 55 g kg<sup>-1</sup> of organic matter, 400 g kg<sup>-1</sup> of clay and pH 6.0. Treatments consisted of combination of rates of poultry litter (equivalent to 0, 4, 8 and 16 Mg ha<sup>-1</sup>) and a single rate of urea, all incorporated in soil or applied on surface. Mineral N (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> and N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) in the soil was determined at 2, 6, 12, 19, 26, 32 and 48 days after treatment application. The concentrations of ammonium decreased and that of nitrate increased over time due to nitrification, which was faster when poultry litter was incorporated to the soil in comparison to surface applied. Mineral soil N recovery from the amount of total N applied as poultry litter was small regardless of the application form: after 48 days, mineral N was 22 and 15.7% for application rates of 4 and 16 Mg ha<sup>-1</sup>, respectively.

## INTRODUÇÃO

A criação de aves na região Sul do Brasil se caracteriza, predominantemente, pela produção em pequenas propriedades com mão-de-obra familiar. O resíduo produzido na criação de aves contém nutrientes e sua utilização como fertilizante pode diminuir os custos de produção e maximizar os lucros da atividade agrícola (Pandolfo & Ceretta, 2008). Ao contrário dos fertilizantes minerais, que possuem composição definida, a composição da cama de aves é variável visto que depende de fatores inerentes ao sistema em que os animais foram criados e do armazenamento da cama (Oliveira et al., 2004).

A eficiência da cama de aves como fertilizante depende das condições edafoclimáticas e de características do resíduo (Nahm, 2005; Lourenço et al., 2013) que vão condicionar a capacidade de mineralização dos nutrientes contidos na fração orgânica (Gordillo & Cabrera, 1997; Hartz et al., 2000; Sistani et al., 2008) uma vez que a quantidade disponibilizada às plantas da maioria dos nutrientes é inferior ao teor total contido no resíduo (Arns, 2004; CQFS, 2004). O nitrogênio (N) presente na cama de aves tem sido objeto de estudo em várias partes do mundo haja vista que, quando este resíduo é aplicado ao solo sem critérios técnicos, este elemento apresenta grande potencial poluente (Bolán et al., 2010; Goss et al., 2013), uma vez que está presente em quantidades significativas neste resíduo e sua forma nítrica é bastante móvel no solo (Dyner et al., 2006). Além disto e por questões de ordem prática e econômica, não raramente os esterco são adicionados ao solo em doses superiores à capacidade de seu suporte. Nessas condições, aumenta a probabilidade de transferência do N para os mananciais hídricos.

A taxa com que o N amoniacal ( $\text{N-NH}_4^+$ ) da cama de aves é oxidado a nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ) após a aplicação ao solo, é fator determinante do seu potencial poluidor. Isso porque o aparecimento precoce de  $\text{NO}_3^-$  no solo antes dos períodos de maior demanda em N pelas culturas, poderá resultar em perdas significativas de N por lixiviação, tornando-se um contaminante das águas de superfície e também do lençol freático (Minogue et al., 2012), visto que a aplicação de cama de aves geralmente antecede à semeadura das culturas. Desta forma, é de grande importância o conhecimento da magnitude das transformações microbianas do N presente nos resíduos no solo, especialmente a rapidez da oxidação do N amoniacal até nitrato para que a aplicação do resíduo ao solo seja feita em sincronia com o período de maior demanda das culturas.

A forma de aplicação da cama de aves ao solo pode afetar seu potencial fertilizante (Jn-Baptiste et al., 2013) e poluente (Adeli et al., 2011), em função das distintas condições ambientais do solo que influenciam as biotransformações do N, razão pela qual é interessante comparar diferentes situações em que a cama é adicionada ao solo, seja ela aplicada na superfície, como é feito no sistema plantio direto, ou uniformemente incorporada, como é feito no preparo convencional do solo.

A determinação de doses de cama de aves para suprir adequadamente a demanda de N das culturas passa, impreterivelmente, pelo conhecimento dos teores de N e da capacidade de mineralização de seus compostos orgânicos. Pesquisas voltadas a este fim são pouco frequentes no Brasil. Objetivou-se, no presente estudo, quantificar as formas

disponíveis, a mineralização líquida e a nitrificação do N da cama de aves, em função de doses aplicadas superficialmente ou incorporadas ao solo, ao longo do tempo.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em Lages, SC, no ano de 2009. Foi utilizado um Cambissolo Húmico álico, coletado na camada superficial de 0 a 30 cm em uma área com vegetação nativa constituída predominantemente por gramíneas. O solo possuía CTC a pH 7,0 = 12,5  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ , P (Mehlich-1) = 4,5  $\text{mg kg}^{-1}$ , K (Mehlich-1) = 63,0  $\text{mg kg}^{-1}$ , matéria orgânica = 55,0  $\text{g kg}^{-1}$ , argila = 400  $\text{g kg}^{-1}$  e pH em água = 4,3. O solo foi tamisado em peneiras com malhas de 2 mm e posteriormente aplicado calcário ( $\text{MgO} = 11\%$ ;  $\text{CaO} = 39\%$ ) para elevar o pH para 6,0 e incubado por 60 dias dentro de sacos plásticos para estabilização da atividade química e biológica.

A cama de aves usada foi proveniente de uma granja produtora de frangos de corte (4 lotes) que utilizou maravalha (aparas de madeira maior que a serragem) como material absorvente dos dejetos animais. Após ser removida do aviário a cama ficou armazenada durante quatro meses em sacos de ráfia amontoados e cobertos com lona. A amostra recolhida para uso no experimento foi secada em estufa a 65 °C e posteriormente moída e passada em peneiras com abertura de 0,5 mm. A amostra apresentou, com base na massa seca e de acordo com os procedimentos analíticos descritos em Tedesco et al. (1995): N-total = 2,55%, N-amoniacal ( $\text{N-NH}_4^+$ ) = 0,24%, N-nítrico ( $\text{N-NO}_3^- + \text{N-NO}_2^-$ ) = 0,001%, N-orgânico total = 2,30%;  $\text{P}_2\text{O}_5 = 3,9\%$ ,  $\text{K}_2\text{O} = 5,0\%$ , C orgânico = 38,0, relação C/N = 14,9 e pH ( $\text{H}_2\text{O}$ ) = 8,3. Além disto, também foi determinado o N total solúvel em água (N-mineral + N-orgânico solúvel em  $\text{H}_2\text{O}$ ). Para isto, adicionaram-se 100 mL de água destilada a 2,0 g de cama de aves cuja mistura foi agitada por 5 min seguida por um período de 5 h de repouso; na sequência, foram retirados 10 mL do extrato e feita digestão sulfúrica para determinação do N, de acordo com o método descrito por Tedesco et al. (1995). O N-orgânico solúvel em água foi calculado pela subtração do N-inorgânico ( $\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^- + \text{N-NO}_2^-$ ) do total solúvel em água. A amostra de cama de aves apresentou 0,87% de N total solúvel em água e 0,63% de N-orgânico solúvel em água, o que corresponde a 34,1 e 24,7% do N total (N-orgânico + N-inorgânico) respectivamente.

Os tratamentos consistiram de um fatorial 4 x 2, sendo o primeiro fator formado por três doses de cama de aves (4, 8 e 16  $\text{Mg ha}^{-1}$ ) e uma de ureia (204  $\text{kg ha}^{-1}$  de N), e o segundo fator por duas formas de aplicação (incorporada ao solo e sobre a superfície); além disto, também foi utilizado um tratamento sem adubação (controle). A dose de ureia foi calculada de modo a adicionar a mesma quantidade de N fornecida por 8,0  $\text{Mg ha}^{-1}$  de cama de aves. As doses foram calculadas considerando-se a existência de dois milhões de  $\text{kg ha}^{-1}$  de solo, na camada 0 a 20 cm. Utilizaram-se o delineamento inteiramente casualizado e quatro repetições totalizando 288 unidades experimentais.

As unidades experimentais foram constituídas por potes plásticos transparentes com dimensões de 13,4 cm de diâmetro e capacidade de 250  $\text{cm}^3$ , contendo 180,0 g de solo úmido, com 20,0% de umidade gravimétrica. Após a aplicação da cama

de aves de corte, os potes foram fechados para evitar perda de água e transferidos para a casa de vegetação, sem controle de temperatura e umidade relativa do ar. Para minimizar a ocorrência de anaerobiose nas amostras de solo foram feitos orifícios nas tampas dos potes. O teor de umidade do solo foi controlado por pesagem semanal das amostras e, quando necessário, foi borrifada água destilada nos frascos para manter a umidade inicial (200 g kg<sup>-1</sup> de água ou 80% da capacidade de retenção de água).

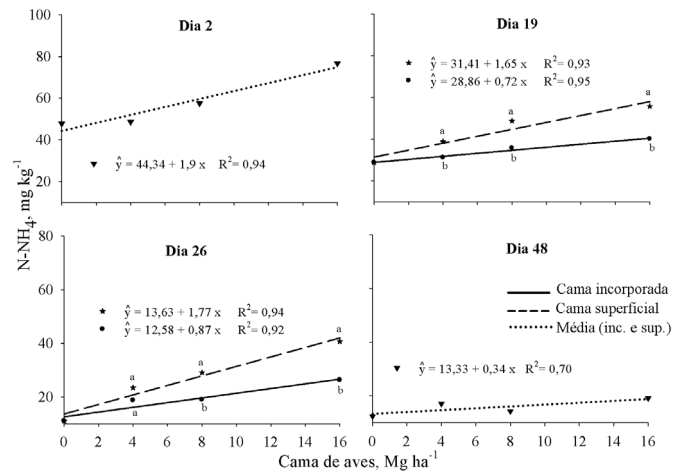
Os teores de N mineral do solo (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) foram determinados no solo aos 2, 6, 12, 19, 26, 32 e 48 dias após o início do período de incubação, conforme a metodologia descrita por Tedesco et al. (1995), sendo os teores de nitrito considerados desprezíveis. Por ocasião de cada amostragem os potes foram pesados para determinação da umidade e todo o solo presente em cada um foi transferido para uma bandeja e homogeneizado manualmente, sendo essas unidades experimentais posteriormente descartadas. A mineralização líquida e a nitrificação foram avaliadas a partir da progressão das quantidades de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> no solo. Os cálculos do N mineral recuperado em relação ao aplicado foram feitos subtraindo-se a quantidade de N mineral da testemunha (sem adição de N) em todas as avaliações, de acordo com a equação:  $\%N_{rec} = (N_{min\ trat} - N_{controle}) / (N_{aplicado}) \times 100$ ; onde:  $\%N_{rec}$  = Percentagem de N mineral recuperado;  $N_{min\ trat}$  = N mineral dos tratamentos com cama de aves ou ureia;  $N_{controle}$  = N mineral no tratamento controle;  $N_{aplicado}$  = N total aplicado ao solo.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (5%) e a partir dos resultados utilizou-se análise de regressão para as variáveis quantitativas. Em caso de interação usou-se o teste de Tukey (p < 0,05) para comparar o nível de um fator, dentre os demais.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A significância dos efeitos de doses e as formas de aplicação de cama de aves ao solo nos teores de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> no solo foram dependentes da época avaliada. As doses de cama de aves afetaram os teores de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> em todas as épocas, porém apenas houve diferença entre as formas de aplicação em três das sete épocas avaliadas (19, 26 e 32 dias), e em duas delas houve interação entre dose e forma de aplicação (26 e 32 dias). Referente aos teores de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> no solo, ocorreu interação entre as formas e doses em todas as épocas, com exceção da última (48 dias), em que somente as doses foram significativas.

Os teores de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> no solo aumentaram linearmente com o incremento da dose de cama de aves em todas as épocas, independentemente da forma de aplicação (Figura 1). Dois dias após a aplicação dos tratamentos, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> aumentou de 44 mg kg<sup>-1</sup>, no controle, para 74 mg kg<sup>-1</sup> naquele em que foram aplicadas 16 Mg ha<sup>-1</sup>; na última avaliação, no 48º dia de incubação, os valores diminuíram em função da nitrificação e foram, respectivamente, de 13 mg kg<sup>-1</sup> e 19 mg kg<sup>-1</sup>. Quando houve diferença entre as formas de aplicação da cama de aves ao solo no teor de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> nas diferentes épocas avaliadas, este sempre foi maior onde o resíduo foi aplicado na superfície do solo em relação à incorporação (Figura 1) o que se deve à menor taxa de nitrificação do resíduo aplicado na superfície em decorrência do menor contato com os micro-organismos.

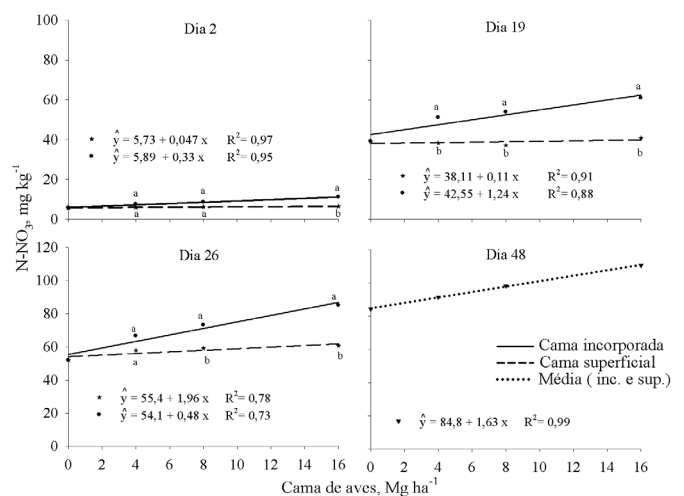


Letras diferentes na vertical indicam diferença entre as formas de aplicação dentro da mesma dose pelo teste de Tukey (p < 0,05). Média de quatro repetições

Figura 1. Quantidades de amônio (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) no solo em função da aplicação de doses de cama de aves (Mg ha<sup>-1</sup>), incorporada ou sobre a superfície do solo

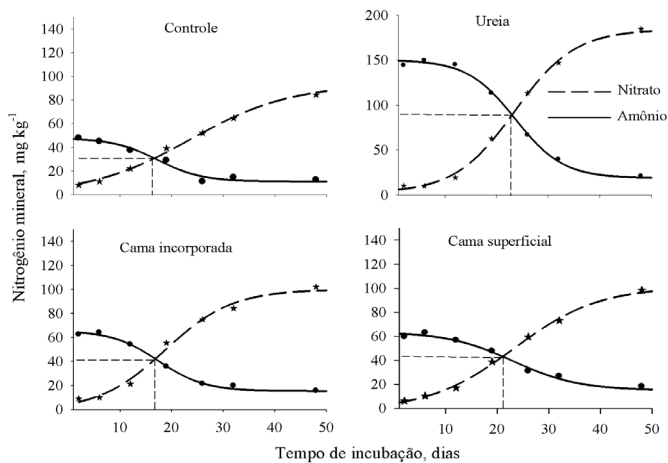
Em todas as épocas, à exceção da última (48º dia), e principalmente nas maiores doses adicionadas, os teores de nitrato foram maiores nos tratamentos com cama de aves incorporada ao solo (Figura 2) devido, provavelmente, à manutenção de valores constantes de umidade no interior do solo em contraste com períodos de umedecimento e ressecamento que ocorrem na superfície do solo (Cabrera et al., 2005). Por outro lado, a incorporação com o solo promove maior contato entre as bactérias nitrificadoras e o N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> presente na cama e facilita a difusão dos substratos solúveis entre os agregados do solo e ainda potencializa o desenvolvimento dos micro-organismos nitrificadores (Giacomini, 2005). O tratamento com ureia apresentou a quase totalidade do N aplicado na forma de amônio desde a primeira amostragem (2 dias), indicando que o processo de hidrólise foi rápido (Longo & Melo, 2005) com consequente liberação de N mineral para o solo e não se observou diferença entre as formas de aplicação ao solo (Figura 3).

Os teores de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> no solo aumentaram com o tempo de incubação e com o aumento da dose de cama de aves (Figura 2).



Letras diferentes na vertical indicam diferença entre as formas de aplicação dentro da mesma dose pelo teste de Tukey (p < 0,05). Média de quatro repetições

Figura 2. Quantidades de nitrato (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) no solo em função de doses de cama de aves aplicadas sobre a superfície ou incorporadas ao solo



A projeção da linha tracejada no eixo das abscissas indica o dia de igualdade dos teores de nitrato e amônio. Os valores nos tratamentos com cama de aves representam a média das doses, pois a data de igualdade não diferiu entre elas. Para a ureia os valores representam a média das formas de aplicação, por não haver diferença entre as mesmas

Figura 3. Teores de nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ) e amônio ( $\text{N-NH}_4^+$ ) no decorrer da incubação em resposta às formas de aplicação de cama de aves e ureia, além do tratamento sem N

Eles passaram de  $5,7 \text{ mg kg}^{-1}$  para  $9,5 \text{ mg kg}^{-1}$ , no 2º dia após a adição do resíduo orgânico ao solo e de  $85 \text{ mg kg}^{-1}$  para  $112 \text{ mg kg}^{-1}$ , no 48º dia, quando a dose de cama aumentou de 0 para  $16 \text{ Mg ha}^{-1}$ , respectivamente. O aumento dos teores de  $\text{N-NO}_3^-$  se deu simultaneamente com a diminuição dos teores de  $\text{N-NH}_4^+$ , em decorrência do processo de oxidação do N amoniacal pelas bactérias nitrificadoras. A variação dos teores de amônio e nitrato no solo no decorrer do período de incubação foi caracterizada por uma curva sigmoide ascendente para o nitrato e outra descendente para o amônio (Figura 3).

A igualdade entre os teores de  $\text{N-NH}_4^+$  e  $\text{N-NO}_3^-$  no solo, determinada pela interceptação das curvas desses íons, se deu aproximadamente no 16º dia de incubação e cinco dias antes nos tratamentos em que a cama de aves foi incorporada (nas três doses), comparativamente à aplicação na superficial do solo (Figura 3) demonstrando, novamente, que a incorporação do resíduo aumentou a velocidade de conversão do N amoniacal para N nítrico. Para a ureia, aplicada tanto na superfície como incorporada, a igualdade se deu no 22º de incubação (Figura 3). A rápida nitrificação do N amoniacal presente nos resíduos após sua adição ao solo pode ter consequências negativas, com diminuição do potencial fertilizante e aumento do potencial poluente (Gonzales et al., 2009). No entanto, os resultados deste estudo sugerem que poluição do solo com  $\text{N-NO}_3^-$  proveniente da cama de aves só ocorreria com doses muito acima das atualmente recomendadas, uma vez que as quantidades de  $\text{N-NO}_3^-$  no solo foram bastante menores que no tratamento com ureia (Figura 4). A dose de  $16 \text{ Mg ha}^{-1}$  de cama de aves adicionou ao solo o dobro de N que a ureia porém apresentou aproximadamente apenas metade do nitrato da ureia ao término do experimento, que durou 48 dias.

O N total mineral no solo ( $\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$ ) aumentou linearmente em todos os tratamentos no decorrer do período de incubação indicando que ocorreu mineralização líquida de N ao longo do tempo. Por exemplo, os teores de N mineral do 2º para o 48º dia aumentaram de 66 para 112 e de 154 para  $205 \text{ mg kg}^{-1}$  para a cama de aves ( $8 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) e ureia, respectivamente (Figura 5). No tratamento controle o N-mineral aumentou de 50

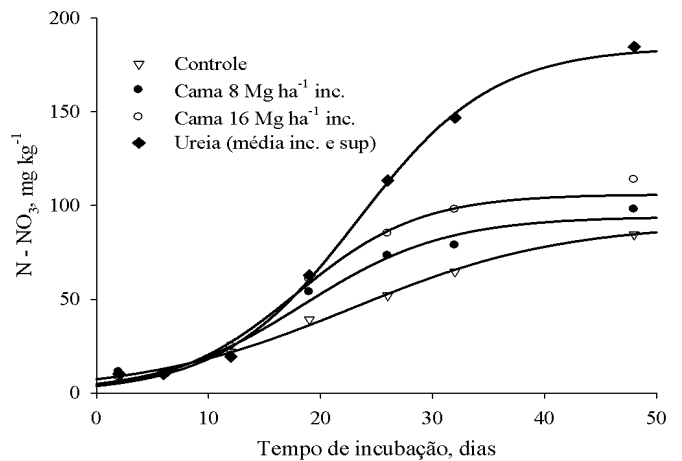
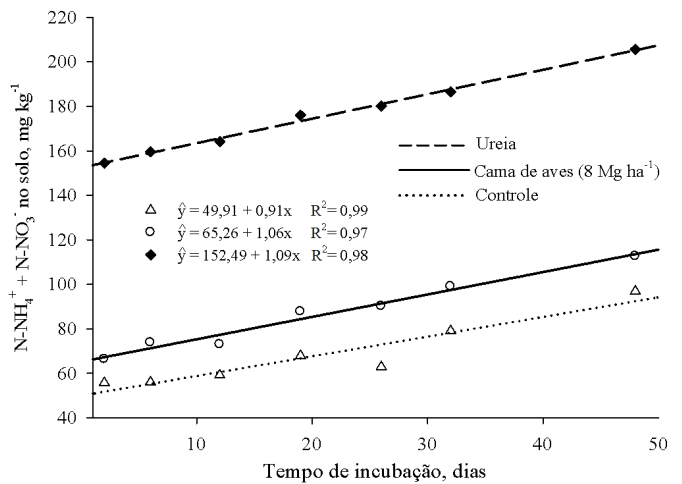


Figura 4. Teores de nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ) no solo no decorrer da incubação após a incorporação de doses de cama de aves e ureia (equivalente em N a  $8 \text{ Mg ha}^{-1}$  de cama de aves), além de um tratamento sem N



Os valores representam a média das formas de aplicação (incorporados e sobre a superfície) devido à inexistência de diferença entre as mesmas. Média de oito repetições

Figura 5. Nitrogênio mineral no solo ( $\text{N-NO}_3^- + \text{N-NH}_4^+$ ) no decorrer da incubação em resposta à aplicação de cama de aves ( $8 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) e ureia (equivalente em N a  $8 \text{ Mg ha}^{-1}$  de cama) além do tratamento sem N

$\text{mg kg}^{-1}$ , no 2º dia, para  $93 \text{ mg kg}^{-1}$ , no 48º dia, correspondendo a uma disponibilização líquida de N no período de  $43 \text{ mg kg}^{-1}$  ( $86 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Esta elevada taxa de mineralização no tratamento controle pode ser atribuída ao alto teor de matéria orgânica do solo e às melhorias das condições químicas e físicas do solo que favoreceram a atividade microbiana, como aumento do pH (Cardoso et al., 2011), a oxigenação do solo, o aumento da temperatura e a manutenção da umidade em faixas ideais ao desenvolvimento microbiano (Rocha et al., 2008).

Os coeficientes angulares (b) das equações lineares ajustadas entre N mineral do solo ( $\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$ ) e o tempo de incubação, os quais indicam o acréscimo de N no solo ( $\text{mg kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ), foram muito próximos entre o tratamento controle e os com cama de aves, independentemente da dose e da forma de aplicação. Por exemplo, os coeficientes foram de 0,91, 1,06 e 1,09 para o tratamento controle, cama de aves ( $8 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) e ureia, respectivamente (Figura 5). A pequena diferença entre o tratamento controle e a ureia pode ser atribuído ao efeito “priming” (Scivittaro et al., 2000) promovido

pela adição de ureia o qual pode ter sido responsável pela recuperação de N maior do que a quantidade aplicada ( $N_{rec} > 100\%$ ) (Figura 6A). Por outro lado, a pequena diferença entre a cama de aves e o controle indica uma pequena taxa de mineralização líquida de N do resíduo orgânico no decorrer do tempo, como é comprovado pelas pequenas quantidades de N mineral recuperado (Figura 6B). No entanto, cabe ressaltar que o método utilizado neste experimento não dá nenhuma informação alguma relativa às taxas brutas de mineralização (Sørensen, 2001), pois quantifica apenas a quantidade líquida de N no solo nas datas amostradas. Os fluxos de N para formas gasosas (volatilização e desnitrificação) e a retenção de N pela biomassa microbiana (imobilização de N) não foram quantificados.

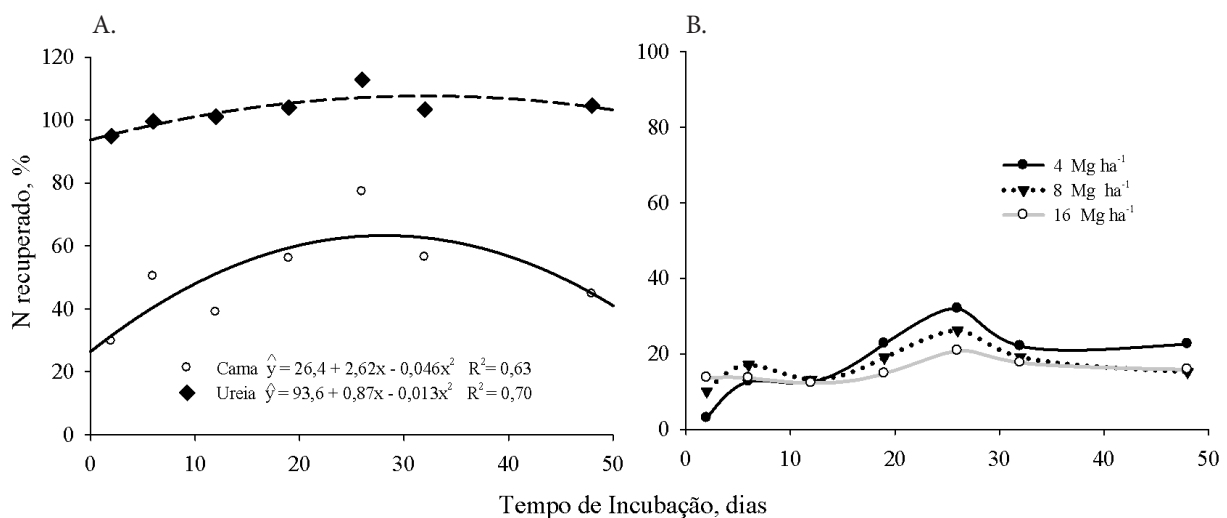
Não houve diferença entre as formas de aplicação da cama de aves nem, tampouco, da ureia sobre as quantidades de N mineral recuperadas no decorrer do tempo, em todas as doses avaliadas (Figura 6B). Não ocorreram aumentos crescentes na percentagem de N recuperado no decorrer da incubação, como se supunha devido ao processo de mineralização, e os valores oscilaram dentro de uma faixa estreita de valores. O valor máximo de N recuperado ocorreu para todas as doses de cama de aves no 26º dia, sendo de 31, 22 e 19% para as doses de 4, 8 e 16  $Mg\ ha^{-1}$ , respectivamente. No último dia avaliado a recuperação de N diminuiu com o aumento da quantidade de cama de aves e passou de 22 para 15,7% quando a dose aumentou de 4 para 16  $Mg\ ha^{-1}$ .

Esses resultados de mineralização líquida diferem daqueles relatados na maioria das pesquisas. Agehara & Warncke (2005) encontraram duas fases durante a incubação: uma de rápida mineralização do N orgânico, nas duas primeiras semanas, seguida de uma fase lenta com pequena taxa de acréscimo; do mesmo modo, Gordillo & Cabrera (1997) encontraram mineralização líquida do N orgânico de até 59% no final da primeira semana e recuperações de 36 a 78% do N aplicado ao término de 146 dias.

A quantidade de N mineral recuperado no solo ( $N-NH_4^+ + N-NO_3^-$ ) relativo à fração do N solúvel em água aplicado pelos fertilizantes foi maior no tratamento com ureia

comparativamente à cama de aves (Figura 6A). O N solúvel em água presente na cama de aves (N-mineral + N-orgânico solúvel em  $H_2O$ ), que correspondia a 34,0% do N total aplicado, não foi recuperado em sua plenitude, diferentemente da ureia, em que a recuperação foi total, desde a primeira avaliação (2 dias). O valor máximo de N recuperado da fração solúvel em  $H_2O$  aplicada pela cama de aves foi de 77% (dose 4  $Mg\ ha^{-1}$ ). Quando os teores de N que já se encontravam na cama de aves na forma mineral (9,4% do N total) antes da aplicação foram subtraídos dos valores de N recuperado no solo, verificou-se que o valor máximo da fração orgânica solúvel em água recuperado foi de 42%. Esses valores diferem dos obtidos por Qafoku et al. (2001), que realizaram um experimento de incubação com 60 amostras de cama de aves objetivando correlacionar o N-orgânico solúvel em água (N-total solúvel em água - N-mineral) com o N potencialmente mineralizável no solo. Os autores encontraram uma faixa de recuperação do N orgânico total aplicado (N-orgânico solúvel em água + N-orgânico insolúvel) de 24,5 a 78,6%, e do N total na matéria seca (N-mineral + N-orgânico) de 44 a 75% e também verificaram que o N-orgânico solúvel em água foi bom indicador do N potencialmente mineralizável em curto prazo cuja fração correspondeu, em média, a um acréscimo de 30% daquele que já se encontrava solúvel.

É provável que a pequena taxa de mineralização encontrada em nosso estudo esteja relacionada ao manejo atribuído à amostra de cama antes de sua utilização no experimento, uma vez que ela ficou armazenada dentro de sacos de rafia por quatro meses, além de ter sido secada previamente em estufa (65 °C), que acentua as perdas de N por volatilização de amônia. Segundo Hartz et al. (2000), a diminuição do processo de mineralização de N ao longo do tempo pode estar relacionada à estabilização dos compostos nitrogenados em formas de difícil mineralização. Desta maneira, durante a armazenagem, os compostos orgânicos mais facilmente decomponíveis podem ter sido utilizados e modificados pela população microbiana, restando compostos orgânicos com alto índice de recalcitrância (Marques, 2005). Por outro lado, verifica-se que neste experimento sequer foi recuperada



Os valores representam a média das formas de aplicação (incorporados e sobre a superfície) devido à inexistência de diferença entre as mesmas. Média de oito repetições

Figura 6. Percentagem de N recuperado ( $N-NO_3^- + N-NH_4^+$ ) após ser descontado o N da testemunha (sem N), em relação ao N-solúvel em  $H_2O$  aplicado ao solo pela dose 8  $Mg\ ha^{-1}$  de cama de aves e pela dose equivalente em N aplicada pela ureia (A) e em relação ao N-total aplicado pelas diferentes doses de cama de aves (B)

a totalidade do N solúvel em água aplicado pela cama de aves. Presume-se, com isto, que perdas de N pelo processo de desnitrificação e indisponibilização temporária de N pela imobilização microbiana também tenham ocorrido. As perdas de N por volatilização de amônia também podem ter ocorrido, principalmente na cama aplicada na superfície do solo (Sharpe et al., 2004); entretanto, mesmo quando a cama foi incorporada ao solo, em que as perdas por esta forma são mínimas, não ocorreram aumentos significativos na quantidade de N recuperada.

Os resultados deste estudo sugerem, em função das baixas percentagens de N recuperado do total aplicado pela cama de aves, que o índice 0,5 (50% do N da cama disponibilizada no primeiro cultivo utilizado pela CQFS (2004) pode estar superestimando a disponibilidade de N para as culturas no cultivo subsequente à aplicação do resíduo. Essas informações são corroboradas por Fioreze et al. (2012), que aos 56 dias de incubação de cama de aves com solos de diferentes texturas do Rio Grande do Sul encontraram percentagem do N total aplicado na forma mineral de 29, 25 e 19% para solos com 238, 470 e 605 g kg<sup>-1</sup> argila, respectivamente. Porém, é interessante a realização de novos experimentos em diferentes condições de solo e com outros tipos de cama, para verificar se os resultados foram devidos a características peculiares do experimento ou de ocorrência generalizada em nossas condições de clima e solo, uma vez que experimentos deste tipo são raros nas condições brasileiras.

## CONCLUSÕES

1. A taxa de nitrificação do N da cama de aves foi maior para o resíduo incorporado ao solo relativamente ao aplicado sobre a superfície; no entanto, independentemente da forma de aplicação, entre duas e três semanas após a aplicação ao solo mais da metade do N mineral recuperado foi nitrato.

2. A mineralização líquida do N orgânico da cama de aves foi baixa, independentemente da forma de aplicação ao solo indicando que pequenas quantidades de N se tornam disponíveis nos períodos iniciais subsequentes à adição ao solo.

3. O N contido na ureia foi rapidamente hidrolisado pois já no segundo dia após a adição do fertilizante ao solo 97% do N aplicado foram recuperados na forma mineral.

## LITERATURA CITADA

- Adeli, A.; Shankle, M. W.; Tewolde, H.; Brooks, J. P.; Sistani, K. R.; McLaughlin, M. R.; Rowe, D. E. Effect of surface incorporation of broiler litter applied to no-till cotton on runoff quality. *Journal Environmental Quality*, v.40, p.566-574, 2011. <http://dx.doi.org/10.2134/jeq2010.0175>
- Agehara, S.; Warncke, D. D. Soil moisture and temperature effects on nitrogen release from organic nitrogen sources. *Soil Science Society America Journal*, v.69, p.1844-1855, 2005. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2004.0361>
- Arns, A. P. Eficiência fertilizante da cama sobreposta de suíno. Passo Fundo: UPF, 2004. 99p. Dissertação Mestrado
- Bolan, N. S.; Szogi, A. A.; Chuasavathi, T.; Seshadri, B.; Rothrock, M. J.; Panneerselvam, P. Uses and management of poultry litter. *World's Poultry Science Journal*, v.66, p.673-698, 2010. <http://dx.doi.org/10.1017/S0043933910000656>
- Cabrera, M. L.; Kissel, D. E.; Vigil, M.F. Nitrogen mineralization from organic residues. *Journal Environmental Quality*, v.34, p.75-90, 2005. <http://dx.doi.org/10.2134/jeq2005.0075>
- Cardoso, E. G.; Sá, J. C. D. M.; Briedis, C.; Ferreira, A. D. O. Borszowski, P. R.; Santos, J. B.; Baranek, E. J. Nitrogen dynamics in soil management systems: II-Mineralization and nitrification rates. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, p.1651-1660, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000500019>
- CQFS - Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC. Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 10.ed. Porto Alegre: SBCS/ NRS, 2004. 400p.
- Dynia, J. F.; Souza, M. D.; Boeira, R. C. Lixiviação de nitrato em Latossolo cultivado com milho após aplicações sucessivas de lodo de esgoto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.41, p.855-862, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2006000500019>
- Fioreze, C.; Ceretta, C. A.; Giacomini, S. J.; Trentin, G.; Lorensini, F. N release in different textures soils with or without organic fertilizers. *Ciência Rural*, v.42, p.1187-1192, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782012005000045>
- Giacomini, S. J. Avaliação e modelização da dinâmica de carbono e nitrogênio em solo com o uso de dejetos de suínos. Santa Maria: UFSM, 2005. 247p. Tese Doutorado
- Gonzales, C. E. A.; Gil, E.; Falcón, M. F.; Hernández, M. M. Water leachates of nitrate nitrogen and cations from poultry manure added to an Alfisol soil. *Water, Air, Soil Pollution*, v.202, p.273-288, 2009. <http://dx.doi.org/10.1007/s11270-008-9975-6>
- Gordillo, R. M.; Cabrera, M. L. Mineralizable nitrogen in broiler litter: I. Effect of selected soil characteristics. *Journal Environmental Quality*, v.26, p.1679-1686, 1997. <http://dx.doi.org/10.2134/jeq1997.00472425002600060031x>
- Goss, M. J.; Ashraf, T.; Goorahoo, D. A review of the use of organic amendments and the risk to human health. *Advances in Agronomy*, v.120, 275-379, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-407686-0.00005-1>
- Hartz, T. K.; Mitchell, J. P.; Giannini, C. Nitrogen and carbon mineralization dynamics of manures and composts. *Horticultural Science*, v.35, p.209-212, 2000.
- Jn-Baptiste, M.; Sistani, K. R.; Tewolde, H. Poultry litter time and method of application effects on corn yield. *Soil Science*, v.178, p.109-119, 2013. <http://dx.doi.org/10.1097/SS.0b013e31828f5fa0>
- Longo, M. R.; Melo, W. J. Hidrólise da ureia em Latossolos: Efeito da concentração de ureia, temperatura, pH, armazenamento e tempo de incubação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p.651-657, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832005000400018>
- Lourenço, K. S.; Corrêa, J. C.; Ernani, P. R.; Lopes, L. D. S.; Nicoloso, R. D. S. Nutrient uptake and yield of common bean fertilized with poultry litters and mineral nutrients. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.37, p. 462-471, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832013000200017>
- Marques, M. G. Transformações do carbono e do nitrogênio no solo e produção de aveia com o uso de dejetos de suínos em plantio direto. Santa Maria: UFSM, 2005. 83p. Dissertação Mestrado
- Minogue, P. J.; Osiecka, A.; Mackowiak, C.; Nowak, J. Leaching potential with diammonium phosphate and poultry litter fertilization of young pine plantations in the Florida Sandhills. *Southern Journal of Applied Forestry*, v.36, p.181-190, 2012. <http://dx.doi.org/10.5849/sjaf.11-004>
- Nahm, K. H. Factors influencing nitrogen mineralization during poultry litter composting and calculations for available nitrogen. *Worlds Poultry Science*, v.61, p.238-255, 2005. <http://dx.doi.org/10.1079/WPS200455>

- Oliveira, M. C.; Ferreira, H. A.; Cancherini, L. C. Efeito de condicionadores químicos sobre a qualidade da cama de frango. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.56, p.536-541, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-09352004000400016>
- Pandolfo, C. M.; Ceretta, C. A. Aspectos econômicos do uso de fontes orgânicas de nutrientes associadas a sistemas de preparo do solo. *Ciência Rural*, v.38, p.1572-1580, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782008000600013>
- Qafoku, O. S.; Cabrera, M. L.; Windham, W. R.; Hill, N. S. Rapid methods to determine potentially mineralizable nitrogen in broiler litter. *Journal of Environmental Quality*, v.30, p.217-221, 2001. <http://dx.doi.org/10.2134/jeq2001.301217x>
- Rocha, F. A.; Martinez, M. A.; Matos, A. T.; Cantarutti, R. B.; Silva, J. O. D. Numerical model of nitrogen transport in the soil. Part II: Biological reaction during leaching. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, p.54-61, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662008000100008>
- Scivittaro, W. B.; Muraoka, T.; Boaretto, A. E.; Trivelin, P. C. Utilização de nitrogênio de adubos verde e mineral pelo milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.24, p.917-926, 2000. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832000000400023>
- Sharpe, R. R.; Schomberg, H. H.; Harper L. A.; Endale, D. M.; Jenkins, M. B.; Franzluebbers, A. J. Ammonia volatilization from surface applied poultry litter under different tillage management practices. *Journal of Environmental Quality*, v.33, p.1183-1189, 2004. <http://dx.doi.org/10.2134/jeq2004.1183>
- Sistani, K. R.; Adeli, A.; Mc Gowen, S. L.; Tewolde, H.; Brink, G. E. A. Laboratory and field evaluation of broiler litter nitrogen mineralization. *Bioresource Technology*, v.99, p.2603-2611, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2007.04.069>
- Sørensen, P. Short-term nitrogen transformations in soil amended with animal manure. *Soil Biology and Biochemistry*, v.33, p.1211-1216, 2001. [http://dx.doi.org/10.1016/S0038-0717\(01\)00025-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0038-0717(01)00025-6)
- Tedesco, M. J.; Gianello, C.; Bissani, C. A.; Bohnen, H.; Volkweiss, S. J. *Análise de solo, plantas e outros materiais*. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p.