

# DISPONIBILIDADE DE NITRATO E AMÔNIO E QUANTIFICAÇÃO DE AMÔNIA VOLATILIZADA EM ÁREA DE CULTIVO DE MILHO NOS SISTEMAS DE PLANTIO DIRETO TRADICIONAL E ORGÂNICO<sup>1</sup>

João Paulo Lemos<sup>2</sup>, João Carlos Cardoso Galvão<sup>3</sup>, Ana Paula Queiroga Celestino<sup>4</sup>, Anastácia Fontanetti<sup>5</sup>, Maria Lita Padinha Correa<sup>6</sup>, Lorena Moreira Carvalho Lemos<sup>7</sup>, Paulo Roberto Cecon<sup>8</sup>

**RESUMO** – Devido à importância dos estudos da dinâmica e recuperação do nitrogênio (N) no sistema solo-planta, objetivou-se avaliar a disponibilidade de nitrato e amônio no solo e quantificar a volatilização da amônia em áreas de cultivo de milho em sistemas de plantio direto tradicional e orgânico. O trabalho foi conduzido nos sistemas de plantio direto tradicional com controle químico de plantas daninhas (SPDT sem adubação; SPDT1 adubado com 150 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 8-28-16 no plantio (12 kg de N) e 50 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura; SPDT2 adubado com 300 kg ha<sup>-1</sup> de 8-28-16 no plantio (24 kg de N) e 100 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura) e sistemas de plantio direto orgânico de milho com controle mecânico de plantas daninhas (SPDO adubado com 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de composto orgânico; e SPDOFP consorciado com feijão-de-porco, na densidade de três plantas/adubado com 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de composto orgânico). As maiores quantidades de amônia volatilizada ocorreram no sistema de plantio direto tradicional que recebeu as maiores quantidades de nitrogênio, atingindo 120 kg de N-NH<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup>. Em sistemas orgânicos de produção de milho com aplicação de composto orgânico a volatilização de nitrogênio ocorre de forma considerável (80 kg ha<sup>-1</sup> de N-NH<sub>3</sub>), porém apresenta redução com o uso do feijão-de-porco.

Palavras chave: Adubação mineral, adubação orgânica, *Zea mays* L.

## AVAILABILITY OF NITRATE AND AMMONIUM AND QUANTIFICATION OF VOLATILIZED AMMONIA IN THE AREA OF MAIZE CULTIVATION IN THE TRADITIONAL TILLAGE AND ORGANIC

**ABSTRACT** – Because of the importance of studies of the dynamics and recovery of nitrogen (N) in the soil-plant system, aimed to evaluate the availability of nitrate and ammonium in the soil and quantify the volatilization of ammonia in areas of maize cultivation in traditional tillage systems and organic. The work was conducted in the traditional tillage systems with chemical weed control (SPDT without fertilization; SPDT1 fertilized

---

<sup>1</sup> Parte da Dissertação de Mestrado do terceiro autor, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, UFV.

<sup>2</sup> Engenheiro Agrônomo, D.Sc. Professor de Agronomia do Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG), 36570-000 Viçosa-MG, [agrolemos@hotmail.com](mailto:agrolemos@hotmail.com);

<sup>3</sup> Engenheiro Agrônomo, D.Sc., Professor do Dep. de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa - DFT/UFV, Bolsista do CNPq. Avenida Peter Henry Rolfs, s/n, Campus Universitário, Viçosa-MG, Brasil, 36.570-000, [jgalvao@ufv.br](mailto:jgalvao@ufv.br);

<sup>4</sup> Engenheira Agrônoma, Professora do Departamento de Agronomia - Centro de Ciências Agrárias/UFSCAR, Rod. Anhanguera, Km 174, Caixa Postal 330, Araras-SP, Brasil, 13.600-970, [afontanetti@yahoo.com.br](mailto:afontanetti@yahoo.com.br);

<sup>5</sup> Engenheira Agrônoma, Gerente de meio ambiente na gerenciadora (STCP) da implantação da Mina de Cobre no Projeto Salobo da mineradora Vale no município de Marabá-PA. [anny.queiroga@gmail.com](mailto:anny.queiroga@gmail.com);

<sup>6</sup> Engenheira Agrônoma, Professora do Departamento de Agronomia - Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém/PA - Brasil, [litapc10@hotmail.com](mailto:litapc10@hotmail.com);

<sup>7</sup> Engenheira Agrônoma, M.Sc., Estudante de Doutorado do Departamento de Fitotecnia, Bolsista CNPq - Universidade Federal de Viçosa, DFT/UFV, 36570-000 Viçosa-MG, [lorenamcarvalho@yahoo.com.br](mailto:lorenamcarvalho@yahoo.com.br);

<sup>8</sup> Engenheiro Agrônomo, D.Sc., Professor do Dep. de Estatística, Universidade Federal de Viçosa - DFT/UFV, Bolsista do CNPq. Avenida Peter Henry Rolfs, s/n, Campus Universitário, Viçosa-MG, Brasil, 36.570-000, [cecon@ufv.br](mailto:cecon@ufv.br).



with 150 kg ha<sup>-1</sup> formula 8-28-16 at planting (12 kg ha<sup>-1</sup> N) and 50 kg ha<sup>-1</sup> N); SPDT2 fertilized with 300 kg ha<sup>-1</sup> of 8-28-16 at planting (24 kg ha<sup>-1</sup> N) and 100 kg ha<sup>-1</sup> N) and no-tillage organic corn with mechanical control of weeds (SPDO fertilized with 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> of compost, and SPDOFP intercropped with bean-pig, the density of three plants/fertilized with 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> of compost). The largest amounts of volatilized ammonia occurred in the traditional tillage system that received the largest amounts of nitrogen to 120 kg NH<sub>3</sub>-N ha<sup>-1</sup>. In organic production systems of maize with application of organic compost nitrogen volatilization occurs significantly (80 kg ha<sup>-1</sup> N-NH<sub>3</sub>), but can be reduced with the use of feijão-de-porco.

*Keywords:* Mineral fertilizers, organic fertilizers, Zea mays L.

## 1. INTRODUÇÃO

A ureia é considerada como um dos mais importantes fertilizantes nitrogenados devido ao seu baixo custo relativo, à alta solubilidade em água e por apresentar boa assimilação dos produtos de sua hidrólise pelas plantas (Cantarella, 1992). Entretanto, esse fertilizante apresenta limitações quanto às perdas de N, principalmente pelo processo de volatilização da amônia (NH<sub>3</sub>), obtido pela hidrólise enzimática da ureia (Scherer & Zhang, 1999) conforme a seguinte reação: N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> + OH<sup>-</sup> (aquoso) → H<sub>2</sub>O + N-NH<sub>3</sub> (gás). A diminuição do potencial de perdas ocorre quando esse gás passa para a forma de íon amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), que depende principalmente do pH em torno do grânulo da ureia, da umidade e temperatura (Pereira et al., 2009). Além da volatilização, a mineralização ou amonificação são processos que estão ocorrendo no solo simultaneamente, e sua intensidade está relacionada diretamente às condições anteriormente citadas.

As práticas de manejo do solo (Lovato et al., 2004; Figueiredo et al., 2005), as condições climáticas (Cantarella, 2007) e as características físico-químicas do solo como o pH, o poder tampão (Van Cleemput, 2004), a textura, a mineralogia da fração argila (Scherer & Zhang, 1999), a umidade, a temperatura (Pereira et al., 2009), a capacidade de troca catiônica - CTC (Schneiders & Scherer, 1998), o teor de resíduos orgânicos (D'Haene et al., 2008, Weber & Mielniczuk, 2009) e o potencial redox (Turner e Patrick, 1968) são responsáveis pela dinâmica do N.

Pesquisas realizadas em diversas condições edafoclimáticas do Brasil (Weber & Mielniczuk, 2009; Muruganandam et al., 2010; Cardoso et al., 2011; Haytham, 2012), avaliando-se o acúmulo de palha (Da Ros et al., 2005), o teor de matéria orgânica do solo (Corrêa et al., 2011; Costa et al., 2011) e tempo de adoção do sistema plantio direto-SPD (Teixeira et al., 1994),

verificaram que estes fatores influenciam diretamente na recomendação da adubação nitrogenada no milho.

Com o cultivo orgânico de milho em sistema plantio direto tem-se obtido resultados favoráveis, pois é uma alternativa viável de manejo do solo, com a possibilidade de manter restos culturais e aumentar a matéria orgânica no sistema (Corrêa et al., 2011). Entretanto, a utilização exclusiva de composto orgânico para adubação têm se mostrado uma prática onerosa em função do volume exigido, sendo fator limitante nesse sistema de produção (Castro et al., 2004).

Diante do exposto, objetivou-se quantificar a volatilização da amônia equivalente em N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> de adubos nitrogenados aplicados, teores de nitrato e amônio no solo em sistemas de plantio direto orgânico e tradicional de milho.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no município de Coimbra (20° 45' S; 42° 51' O), na Zona da Mata Mineira, em área experimental com histórico de 18 anos de produção de milho com adubação mineral e orgânica. O solo da área experimental é um Argissolo Vermelho-Amarelo, fase terraço, muito argiloso (Embrapa, 1999). A precipitação em milímetros e a temperatura média em decêndio (°C) foram verificadas na área experimental durante a condução do estudo (Figura 1).

As parcelas consistiram de oito linhas de milho com 8 m de comprimento, espaçadas de um metro (64 m<sup>2</sup>). A área útil compreendeu as quatro fileiras centrais desprezando-se 2,5 m das extremidades (12 m<sup>2</sup>). No sistema plantio direto tradicional (SPDT) a aveia preta (*Avena stringosa*) foi dessecada com aplicação de 2 L ha<sup>-1</sup> de Glyphosate. No sistema plantio direto orgânico (SPDO) a aveia foi cortada rente ao solo com ceifadeira motorizada. Cinco dias após o corte da aveia no SPDO e da aplicação do herbicida no SPDT, foi realizado o plantio do milho.

O milho e o feijão-de-porco foram semeados na mesma linha, mantendo-se a população de três plantas de feijão-de-porco por metro de sulco. A aveia preta foi semeada em julho e manejada (corte) no florescimento em outubro. O composto orgânico foi aplicado sobre a palha da aveia ao lado da linha de plantio após a emergência das plantas de milho. Os resultados da análise química do composto utilizado (palhada de soja e feijão com esterco bovino) estão no Quadro 1.

Foi utilizada a variedade de milho UFV-M100 Nativo, com a população final de 50.000 plantas por hectare em sistema de plantio direto na palha, adotando-se o delineamento em blocos ao acaso com três repetições, sendo avaliados os seguintes tratamentos: SPDT (sistema plantio direto tradicional de milho sem adubação/controlado de plantas daninhas com herbicida); SPDT1 (sistema plantio direto tradicional de milho adubado com 150 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 8-28-16 no plantio (12 kg de N-NH<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup>) e 50 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura/controlado de plantas daninhas com herbicida); SPDT2 (sistema plantio direto tradicional de milho adubado com 300 kg ha<sup>-1</sup> de 8-28-16 no plantio (24 kg de N-NH<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup>) e 100 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura/controlado de plantas daninhas com herbicida); SPDO (sistema plantio direto

orgânico milho adubado com 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de composto orgânico/controlado de plantas daninhas com ceifadeira motorizada); SPDOFP (milho consorciado com feijão-de-porco, na densidade de três plantas/m + 40 m<sup>3</sup> composto orgânico ha<sup>-1</sup>/controlado de plantas daninhas com ceifadeira motorizada).

As produções de massa seca de aveia em t/ha foram: SPDT (0,840); SPDT1 (2,310); SPDT2 (2,330); SPDO e SPDOFP (4,650). Aos 25 dias após a emergência do milho, foi feita a adubação química em cobertura com 50 e 100 kg ha<sup>-1</sup> de N (ureia granulada de diâmetro entre 2,36 a 2,80 mm) nos SPDT1 e SPDT2, respectivamente. O controle de plantas daninhas nos sistemas de plantio direto tradicional foi realizado com a aplicação dos herbicidas pós-emergentes (1,5 kg ha<sup>-1</sup> Atrazine e 12 g ha<sup>-1</sup> Nicossulfuron) e no sistema orgânico com ceifadeira motorizada, nos estádios de quatro e oito folhas completamente desenvolvidas das plantas de milho.

Cinco dias após o plantio do milho foram instalados coletores para avaliar a volatilização de amônia. Utilizaram-se coletores semi-abertos estáticos de acordo com modelo proposto por Lara Cabezas et al. (1999). Os coletores foram confeccionados com tubos de PVC de diâmetro 200 mm e 400 mm de comprimento, com tampa de PVC. As unidades coletoras de amônia foram discos de espuma com 20 mm de espessura e 200 mm de diâmetro. As espumas foram embebidas com 40 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,05 mol. L<sup>-1</sup> + glicerina 5%. Os discos coletores foram instalados no interior do coletor a 15 cm do solo e 15 cm acima foi instalado outro disco, igualmente preparado, para impedir a entrada de amônia da atmosfera externa ao coletor. Foram instalados dois coletores na área útil de cada parcela localizando-os ao lado da linha de plantio. Os coletores foram instalados 5 dias antes de se realizar a adubação de plantio. Para a aplicação do composto orgânico e da adubação de cobertura os coletores foram removidos e depois reinstalados.

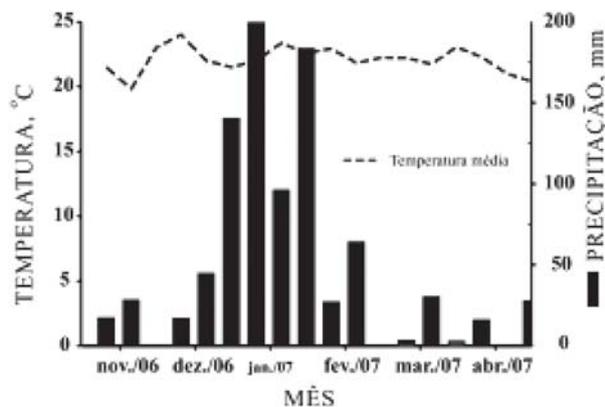


Figura 1 - Precipitação em mm e temperatura média em decêndio (°C), observadas durante a condução do experimento.

Quadro 1 - Resultados da análise química do composto utilizado (palhada de soja e feijão com esterco bovino) com base no peso da matéria seca

N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Zn
g kg <sup>-1</sup>					mg kg <sup>-1</sup>				
16,6	4,19	2,62	9,56	3,68	2,11	10,75	35,62	214,73	71,8

\*As determinações foram efetuadas de acordo com o método descrito por Kiehl (1985) e umidade de 13%.



Para quantificar a amônia volatilizada, foram realizadas coletas dos discos de espuma (discos inferiores) aos 0, 15, 30, 45 e 60 dias após a instalação dos coletores. A cada coleta os discos de cada coletor eram substituídos. Os discos foram condicionados em saco plástico e imediatamente armazenados em geladeira até a análise. Para recuperação da amônia capturada, os discos de espuma foram lavados com 400 mL de água destilada, fazendo-se pressão a estes para remover o máximo da água absorvida. Para a dosagem da amônia volatilizada uma alíquota de 20 mL foi submetida à destilação Kjeldahl, sendo expresso em g de  $N-NH_3$ . Simultaneamente à retirada dos coletores de amônia foram realizadas amostragens do solo nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Nas proximidades dos coletores foram coletadas três amostras que foram reunidas para obter uma amostra composta por parcela. O solo foi seco e passado por peneira de 2 mm (TFSA). Determinaram-se os teores de  $N-NH_4^+$  e  $N-NO_3^-$  extraídos com solução de KCl 1 mol L<sup>-1</sup>. O  $N-NH_4^+$  e o teor de  $N-NO_3^-$  foi dosado por método colorimétrico, de acordo com Kempers & Zwiers (1986) e Yang et al., (1998), respectivamente. Os dados foram submetidos análise de variância para descrever a variação da amônia volatilizada e dos teores de N durante as amostragens de acordo com os tratamentos, utilizando-se para isso, o software SAS (Statistical Analysis System, 1999).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As menores quantidades de amônia volatilizada ocorreram no SPDT, tendo em vista que este não recebeu adubação nitrogenada. O pico máximo ocorreu no 18º dia após a primeira coleta das espumas, atingindo 24 kg ha<sup>-1</sup> de  $N-NH_3$  (N equivalente em  $N-NH_4$ ). No tratamento mineral SPDT1, a volatilização atingiu o seu valor máximo no 17º dia após a primeira coleta de solo, aproximadamente no sétimo dia após a adubação de cobertura, com níveis de 80 kg ha<sup>-1</sup> de  $N-NH_3$  (Figura 2).

De acordo com Sangoi et al. (2003), a manutenção da palha sobre a superfície do solo estimula a volatilização, (Beyrouy et al., 1988) pois promove a atividade microbiana e a produção de urease, favorecendo a hidrólise da ureia. No entanto, Da Ros et al. (2005) observaram que resíduos culturais de aveia diminuem as perdas de N por volatilização de amônia por aumentar a umidade no solo. Além disso, estes resíduos (D'Haene et al.,

2008, Weber & Mielniczuk, 2009) podem incrementar o nível de N total nas camadas superficiais do solo.

Os maiores valores foram obtidos no SPDT2, no qual atingiu 120 kg ha<sup>-1</sup> de  $N-NH_3$  no 18º dia. Tais resultados podem ser atribuídos ao tipo de aplicação feita em SPD, onde o adubo não é incorporado ao solo, o que facilita a volatilização do N. De acordo com Bernardi et al. (2010) a incorporação da ureia ao solo pode reduzir

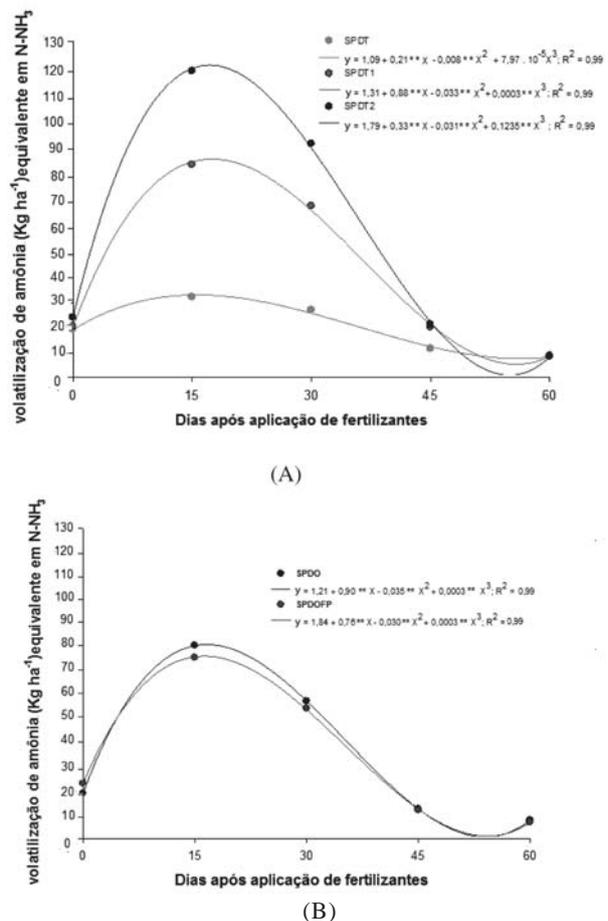


Figura 2 - Volatilização de amônia (kg ha<sup>-1</sup>) pelos dias após aplicação de fertilizantes (0, 15, 30, 45 e 60) dos tratamentos no gráfico A - SPDT (sistema plantio direto tradicional de milho sem adubação); SPDT1 (sistema plantio direto tradicional de milho adubado com 62 kg ha<sup>-1</sup> de N); SPDT2 (sistema plantio direto tradicional de milho adubado com 124 kg ha<sup>-1</sup> de N); e no gráfico B - SPDO (sistema plantio direto orgânico milho adubado com 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de composto orgânico); SPDOFP (milho consorciado com feijão-de-porco, na densidade de três plantas/m e adubado com 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de composto orgânico).

à metade as perdas por volatilização de amônia em relação à aplicação em superfície (Sangoi et al., 2003) independentemente do manejo dos restos culturais de aveia preta, das características texturais, do teor de matéria orgânica e da CTC do solo.

Contudo, verifica-se que as perdas de 77,41% do N total aplicado (plantio + cobertura) no SPDT2 foram proporcionalmente menores que os 90,32% obtidos no SPDT1, se considerada a quantidade final de N aplicado e a volatilizada no tratamento testemunha. De acordo com Hargrove (1998), altas concentrações de ureia no solo podem saturar os sítios ativos da enzima urease de modo a retardar a hidrólise, diminuindo assim as perdas. Além disso, o pH mais baixo no SPDT2 pode ter influenciado na taxa de volatilização em comparação ao SPDT1 e SPDT (Figura 3), também observado por Guimarães et al. (2010) ao avaliarem a volatilização de ureia em diferentes formas de acabamento em dois pH de solo, no qual constataram que os picos de volatilização foram maiores no solo com pH mais alto. Com a elevação do pH, a conversão da  $\text{NH}_3$  a  $\text{NH}_4^+$ , torna-se dificultada pela falta de íons  $\text{H}^+$ , aumentando a concentração de  $\text{NH}_3$  próximo do grânulo de ureia e a chance de ocorrer a volatilização da  $\text{NH}_3$ . É importante salientar que nas maiores doses há uma maior chance de perdas do nutriente por volatilização, lixiviação, desnitrificação e lavagem superficial (Silva et al., 2011).

O SPDO atingiu seu ponto máximo de volatilização no 17º dia após a primeira coleta, com volatilização de  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{N-NH}_3$ . Já o tratamento SPDOFP, teve seu ponto máximo de volatilização no 17º após a primeira

coleta, atingindo níveis de  $73,1 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{N-NH}_3$ . Comparado ao SPDO em que também se empregou a adubação orgânica, o SPDOFP teve menor volatilização, provavelmente devido à presença do feijão-de-porco.

O feijão-de-porco, além da maior proteção do solo (Maia & Cantarutti, 2004) e da capacidade diferencial de fixar simbioticamente N, contribui para acréscimos de N no solo em frações mais estáveis da matéria orgânica do solo (Wohlenberg et al., 2004). Além disso, o pH do sistema que se utilizou da adubação orgânica sem o feijão-de-porco ficou próximo de 7,0, enquanto no sistema com a presença do feijão-de-porco foi próximo de 6,0 (Figura 3), o que pode ter contribuído para a diferença obtida entre os sistemas de plantio, com maior o potencial de volatilização no solo com pH mais próximo de 7,0, semelhante ao resultados obtidos por Guimarães et al. (2010).

Os maiores teores disponíveis de amônio, especialmente aos 15 dias após o plantio (DAP) foram observados nos tratamentos de sistema plantio direto tradicional e nos sistemas plantio direto orgânico com e sem feijão-de-porco (Figura 4). Nas demais épocas de avaliação observaram-se poucas alterações. Entretanto, o comportamento observado para os teores de amônio nos tratamentos avaliados, em cada uma das profundidades de amostragem estabelecidas, demonstra ter havido aumentos de disponibilidade de amônio no solo. No primeiro, sendo o mais proeminente, os teores de amônio atingiram maiores valores aos 15 DAP e o segundo em torno dos 60 DAP. Além disso, estes coincidem com o período de 15 dias após as

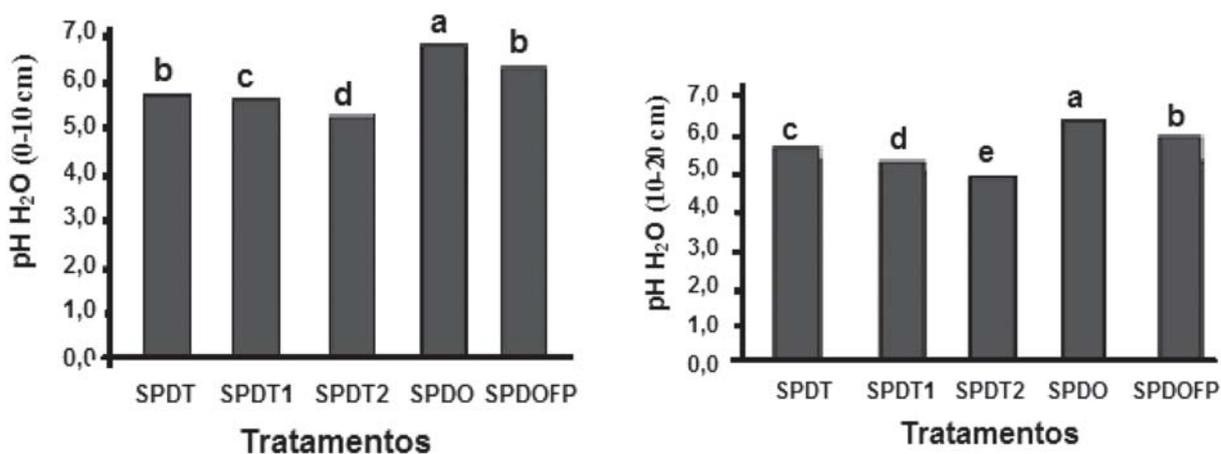


Figura 3 - Valores de pH nos sistemas de plantio na profundidade de 0-10 e de 10-20 cm respectivamente.

\*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% pelo teste de Tukey.



aplicações dos fertilizantes minerais e, ou, orgânicos, de plantio e de cobertura.

O aumento dos teores de amônio nos SPD com fertilização mineral pode ser explicado devido à liberação do amônio no meio como produto primário após ação da urease, antes da ação dos organismos nitrificadores (Cantarella, 2007), e para os tratamentos com composto orgânico (SPDO e SPDOFP), os pulsos de disponibilidade se devem a mineralização do N orgânico, presente no composto e na biomassa da leguminosa (Scivittaro et al., 2000).

Durante as épocas de avaliação houve grande variação nos teores de amônio em função das profundidades para cada esquema de SPD. No SPDT, os teores foram superiores na profundidade de 10-20 cm até aos 30 dias após plantio, enquanto que nas demais avaliações constataram-se maiores teores na profundidade de 5-10 cm (Figura 4).

No tratamento SPDT1 (Figura 5) houve maiores teores de amônio na profundidade de 0-5 cm, contudo, aos 15 e 30 DAP foram registrados maiores teores na profundidade de 5-10 cm. Nas avaliações subsequentes observaram-se pequenas variações nos teores em função das profundidades, embora tenham sido registrados maiores teores na profundidade de 10-20 cm. Gonçalves et al. (2000), em trabalho com milho em plantio direto e sua influência sobre o N no solo, verificaram que o N no solo somente foi influenciado pelas sucessões de culturas na profundidade de 0-2,5 cm.

O comportamento dos teores de amônio para o tratamento SPDT2 seguiu, com exceção da ordem

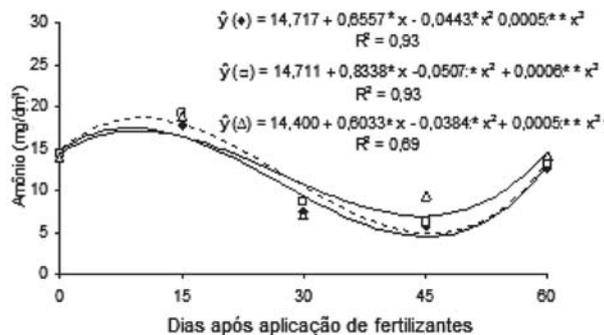


Figura 4 - Teores de amônio no solo no sistema plantio direto sem adubação mineral (SPDT - testemunha) e para as profundidades de 0-5 (◆), 5-10 (Δ) e 10-20 cm (□) em função dos dias após aplicação de fertilizantes.

registrada na avaliação feita aos 30 DAP, em que se verificaram maiores teores na profundidade de 0-5 cm, a mesma tendência, porém, em menor magnitude, para o tratamento SPDT1 (Figura 5).

Verificou-se que no tratamento SPDO o comportamento foi bastante diferenciado em relação ao observado nos demais tratamentos. Foram constatados maiores teores de amônio na profundidade de 0-5 cm nas três primeiras avaliações (0, 15 e 30 DAP). Isso se deu provavelmente devido a aplicação do composto em superfície (Bernardi et al., 2010). Na avaliação feita aos 45 DAP houve pouca diferenciação entre os teores das profundidades de 0-5 cm e de 10-20 cm. Os teores de amônio aos 60 DAP apresentaram pequenas variações entre as profundidades de amostragem (Figura 6).

Para o tratamento SPDOFP observou-se que, com exceção das avaliações feitas aos 30 e 60 DAP nas quais tiveram maiores teores para as profundidades

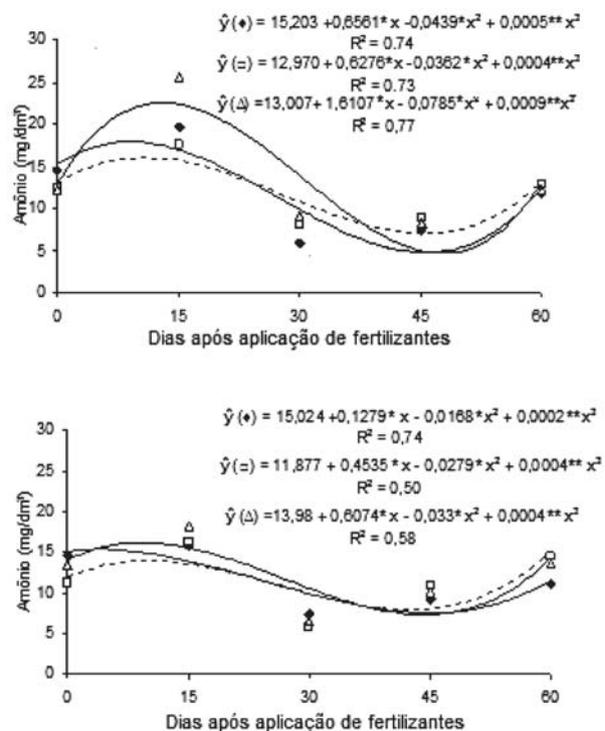


Figura 5 - Teores de amônio no solo no sistema plantio direto com adubação mineral na dose de 150 kg ha<sup>-1</sup> (SPDT1) e com adubação mineral na dose de 300 kg ha<sup>-1</sup> (SPDT2) respectivamente, para as profundidades de 0-5 (◆), 5-10 (Δ) e 10-20 cm (□) em função dos dias após aplicação de fertilizantes.

de 5-10 e 0-5 cm respectivamente, registraram-se maiores teores de amônio na profundidade de 10-20 cm (Figura 6).

A tendência de maiores teores de amônio nas profundidades de 0-5 e 5-10 observada está coerente com a reportada por outros autores (Aita et al., 2006; Aita et al., 2007) e pode ser explicada pela incorporação de resíduos vegetais sobre a superfície e a aplicação de composto orgânico (Maia & Cantarutti, 2004), o que proporciona condições de temperatura e umidade mais favoráveis à nitrificação.

O comportamento dos teores de nitrato no solo, em função das datas de coletas (dias), para os diferentes esquemas de produção de milho em SPD, podem ser visualizados nos gráficos das Figuras 7 a 9. Verifica-se que com exceção dos tratamentos SPDT na profundidade de 10-20 cm, e do SPDT1 e SPDOFP na profundidade de 0-5 cm, os teores de nitrato no solo para os demais tratamentos, foram melhores descritos por modelos quadráticos de regressão.

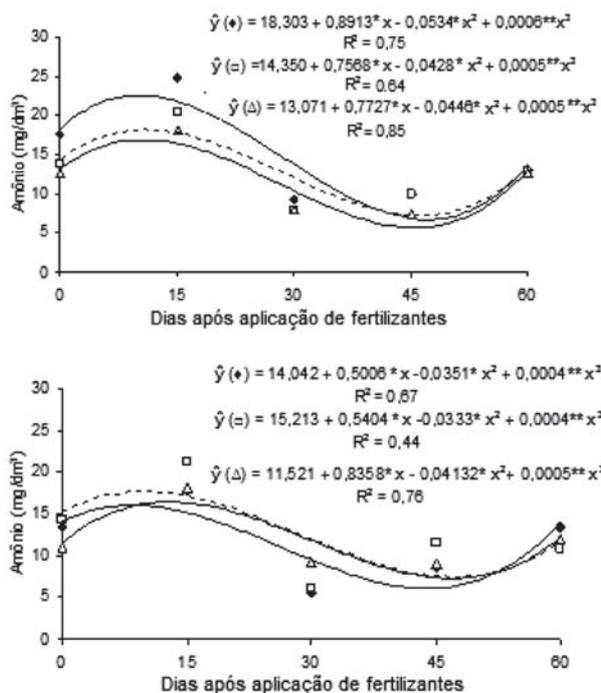


Figura 6 - Teores de amônio no solo no sistema plantio direto orgânico (SPDO) e no sistema plantio direto orgânico com feijão-de-porco (SPDOFP) respectivamente, para as profundidades de 0-5 (◆), 5-10 (Δ) e 10-20 cm (□) em função dos dias após aplicação de fertilizantes.

De modo geral, os maiores teores de nitrato foram nos tratamentos SPDOFP e SPDT1, principalmente nas profundidades de 0-5 e de 5-10 cm, que estão de acordo com os observados por Aita et al. (2007). Os teores observados para os tratamentos SPDO e SPDT2 foram considerados intermediários, contudo em todas as profundidades houve menores teores para o tratamento Testemunha (Figuras 7 a 9).

Os valores estimados pelas equações de regressão ajustadas evidenciaram que, exceção feita ao tratamento SPDT1, no qual se observou maiores teores de nitrato no tempo zero (primeira coleta), os demais tratamentos tiveram, para a profundidade de 0-5 cm, teores máximos de nitrato entre 38 (SPDO) e 45 dias (SPDOFP) após o plantio.

Na profundidade de 5-10 cm os teores máximos foram observados entre os 22 (SPDO) e 35 dias (SPDT2), havendo pequenas variações entre os tratamentos. Contudo, na profundidade de 10-20 cm observou-se que, ao contrário dos demais tratamentos, em que os teores máximos foram obtidos em torno de 30 dias após o plantio, verificou-se maiores teores de nitrato para o tratamento SPDOFP aos 59 dias após o plantio. Aita et al. (2007) constatou que o N amoniacal foi praticamente todo oxidado a nitrato, entre 15 e 20 dias após a aplicação de dejetos líquidos de suínos sobre os resíduos culturais de milho em sistema plantio direto.

Ao analisar o comportamento dos teores de nitrato de forma separada para cada tratamento nas três profundidades de amostragem tem-se uma ideia mais detalhada da variação dos teores em função dos sistemas

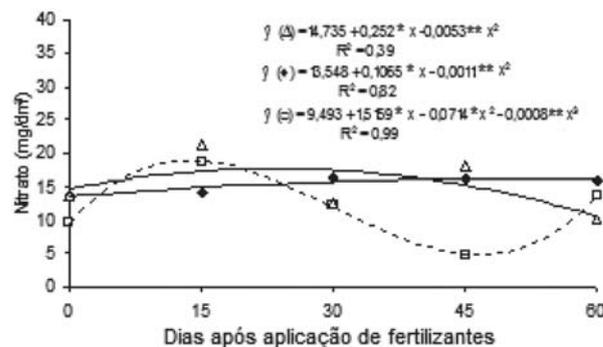


Figura 7 - Teores de nitrato no solo no sistema plantio direto sem adubação mineral (SPDT - testemunha) e das profundidades de 0-5 (◆), 5-10 (Δ) e 10-20 cm (□), em função dos dias após aplicação de fertilizantes.



de manejo adotados. Para o tratamento testemunha (Figura 7) aos 15 e 45 DAP, houve maiores valores para a profundidade de 5-10 cm, porém aos 30 e 60 DAP os maiores teores foram observados na profundidade de 0-5 cm.

Em relação ao tratamento SPDT1 observaram-se inicialmente teores de nitrato bastante elevados na profundidade de 0-5 cm, provavelmente devido ao efeito residual de aplicações anteriores, os quais tenderam a diminuir com o avanço das coletas. Assim, com exceção das avaliações feitas aos 15 DAP em que os teores na profundidade de 5-10 cm foram maiores, registraram-se nas demais avaliações maiores teores na profundidade de 10-20 cm (Figura 8).

Quanto ao tratamento SPDT2, na primeira avaliação (tempo zero) e aos 52 DAP aproximadamente, foram obtidos os maiores teores na profundidade de 10-20 cm (Figura 6). Entretanto, aos 60 DAP houve maiores teores na profundidade de 0-5 cm.

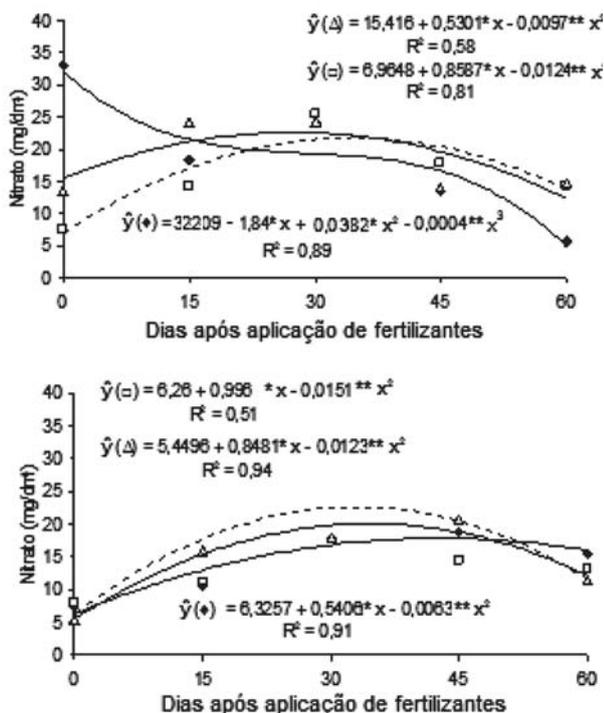


Figura 8 - Teores de nitrato no solo no sistema plantio direto com adubação mineral na dose de 150 kg ha<sup>-1</sup> (SPDT1) e no sistema plantio direto com adubação mineral na dose de 300 kg ha<sup>-1</sup> (SPDT2) respectivamente, das profundidades de 0-5 (◆), 5-10 (△) e 10-20 cm (□) em função dos dias após aplicação de fertilizantes.

No tratamento SPDO observou-se maiores teores na profundidade de 5-10 cm aos 0, 15 e 30 DAP. Contudo, nas avaliações feitas aos 45 e 60 DAP os maiores teores foram obtidos nas profundidades de 10-20 e de 0-5 cm, respectivamente (Figura 9).

Com relação ao tratamento SPDFP registrou-se maiores teores em 0-5 cm no tempo zero e aos 45 DAP, enquanto que aos 15 e 30 DAP constatou-se maiores teores na profundidade de 5-10 cm, resultados semelhantes ao obtido no SPDO. Aos 60 DAP houve pequenas diferenças nos teores em função das profundidades com maiores valores para a profundidade de 10-20 cm (Figura 9). Os teores máximos de nitrato no solo na profundidade de 0-5 cm variaram de 16,1 mg/dm<sup>3</sup> (Testemunha) até 35 mg/dm<sup>3</sup> (SPDOFP). Na profundidade de 5-10 cm a amplitude de variação foi menor e os teores oscilaram entre 17,7 mg/dm<sup>3</sup> (Testemunha) e 24,2 mg/dm<sup>3</sup> (SPDOFP).

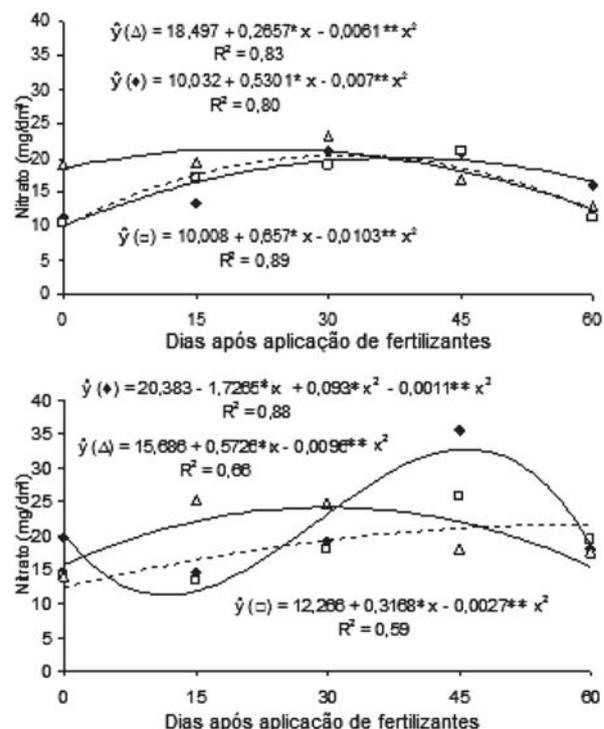


Figura 9 - Teores de nitrato no solo no sistema plantio direto orgânico (SPDO) e no sistema plantio direto orgânico com feijão-de-porco (SPDOFP) respectivamente, das profundidades de 0-5 (◆), 5-10 (△) e 10-20 cm (□) em função dos dias após aplicação de fertilizantes.

Na profundidade de 10-20 cm a amplitude de variação foi ainda menor (21,4 à 21,8 mg/dm<sup>3</sup>). A variação temporal, a amplitude de variação e o comportamento dos teores de nitrato em função das profundidades observadas neste trabalho estão coerentes com os resultados obtidos por outros autores (Aita et al., 2007).

#### 4. CONCLUSÕES

A maior volatilização da amônia ocorreu no sistema de plantio direto tradicional com a maior adubação (124 kg de N-NH<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup>). O aumento da dose de N em sistema de plantio direto tradicional reduz proporcionalmente as perdas por volatilização de N aplicado.

Em sistemas orgânicos de produção de milho com aplicação de composto orgânico, a volatilização de nitrogênio ocorre de forma considerável (80 kg ha<sup>-1</sup> de N-NH<sub>3</sub>), porém pode ser reduzida com o uso do feijão-de-porco.

No sistema de plantio direto orgânico com aplicação superficial de composto orgânico e no sistema de plantio direto tradicional com a maior dose de adubo nitrogenado, os maiores teores de nitrato foram encontrados nas profundidades 5-10 e 10-20 cm.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo auxílio financeiro ao projeto e pela concessão de bolsas de pós-graduação e de produtividade em pesquisa.

#### 6. LITERATURA CITADA

AITA, C.; PORT, O.; GIACOMINI, S.J. Dinâmica do nitrogênio no solo e produção de fitomassa por plantas de cobertura no outono/inverno com o uso de dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.901-919, 2006.

AITA, C.; GIACOMINI, S.J.; HUBNER, A.P. Nitrificação do nitrogênio amoniacal de dejetos líquidos de suínos em solo sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v.42, p.95-102, 2007.

BEYROUTY, C.A.; SOMMERS, L.E.; NELSON, D.W. Ammonia volatilization from surface-applied urea as affected by several phosphoroamide compounds. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v.52, p.1173-1178, 1988.

BERNARDI, A.C.C.; MOTA, E.P.; CARDOSO, R.D. et al. **Volatilização de amônia, produção de matéria seca e teores foliares de N do azevém adubado com fontes nitrogenadas**. São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 8p. novembro, 2010. (Circular Técnica 66).

CANTARELLA, H. **Perdas de nitrogênio por volatilização podem comprometer a adubação**. **Petrofertil Rural**, São Paulo, n.13, 1992.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.V.; BARROS, N.F. et al. (Ed.) **Fertilidade do solo**. 1ª ed. Viçosa, Minas Gerais. 2007. p.375-470.

CARDOSO, E.G.; SÁ, J.C.M.; BRIEDIS, C. et al. Nitrogen dynamics in soil management systems: II - mineralization and nitrification rates. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.5, p.1651-1660, 2011.

CORRÊA M.L.P.; GALVÃO, J.C.C.; FONTANETTI, A. et al. Dinâmica populacional de plantas daninhas na cultura do milho em função de adubação e manejo. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v.42, n.2, p.354-363, 2011.

CASTRO, C.M.; ALVES, B.J.R.; ALMEIDA, D.L. et al. Adubação verde como fonte de nitrogênio para a cultura da berinjela em sistema orgânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.8, p.779-785, 2004.

COSTA, M.S.S.M.; STEINER, F.; COSTA, L.A.M. et al. Nutrição e produtividade da cultura do milho em sistemas de culturas e fontes de adubação. **Revista Ceres**, Viçosa, v.58, n.2, p.249-255, 2011.

DAROS, C.O.; AITA, C.; GIACOMINI, S.J. Volatilização de amônia com aplicação de ureia na superfície do solo, no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.4, p.799-805, 2005.

D'HAENE, K.; VANDENBRUWANE, J.; DE NEVE, S.; GABRIELS, D.; SALOMEZ, J. & HOFMAN, G. The effect of reduced tillage on nitrogen dynamics in silt loam soils. **Europe Journal Agronomy**, Amsterdam, v.28, p.449-460, 2008.



EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília, DF: Embrapa Produção da Informação;

Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.

FIGUEIREDO, C.C.; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C. et al. Sistemas de manejo na absorção de nitrogênio pelo milho em um Latossolo Vermelho no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.3, p.279-287, mar. 2005.

GONÇALVES, C.N.; CERETTA, C.A.; BASSO, C.J. Sucessões de culturas com plantas de cobertura e milho em plantio direto e sua influência sobre o nitrogênio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.1, p.153-159, 2000.

GUIMARÃES, G.G.F.; PALVA, D.M.; RENA, F.C. et al. Volatilização de amônia pela hidrólise da ureia com diferentes formas de acabamento. (Trabalho contemplado com o prêmio IPNI Brasil em nutrição de plantas categoria jovem pesquisador – 2010). *Informações Agronômicas* Nº 131 – Setembro/2010. Disponível em: <[http://www.potafos.org/ppiweb/Brazil.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/5dabcfb5dec4ed0e832577720050ce6c/\\$FILE/Page17-18-131.pdf](http://www.potafos.org/ppiweb/Brazil.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/5dabcfb5dec4ed0e832577720050ce6c/$FILE/Page17-18-131.pdf)>. Acessado em: 03 de abr. de 2012.

HAYTHAM, M.; EL-SHARKAWI. Effect of nitrogen sources on microbial biomass nitrogen under different soil types. **ISRN Soil Science**, Dokki, v.2012, Article ID 310727, 2012. 7p.

HARGROVE, W.L. Soil, environmental, and management factors influencing ammonia volatilization under field conditions In: BOCK, B.R & KISSEL, K.E. (Eds). **Ammonia volatilization from urea fertilizers.** Alabama, National Fertilizer Development Center, Tennessee Valley Authority, cap.2, p.17-36, 1988.

KEMPERS, A.J.; ZEWERS, W.L. Ammonium determination in soil extracts by salicylate method. **Communication Soil Science and Plant Analysis**, London v.17, n.7, p.715-723, 1986.

LARA CABEZAS, A.R.; TRIVELIN, P.C.O.; BENDASSOLLI, J.A. et al. Calibration of a semi-open static collector for determination of ammonia volatilization from nitrogen fertilizers.

**Communication Soil Science and Plant Analysis**, London, v.30, p.389-406, 1999.

LARA CABEZAS, W.A.R.; SOUZA, M.A. Volatilização de amônia, lixiviação de nitrogênio e produtividade de milho em resposta à aplicação de misturas de ureia com sulfato de amônio ou com gesso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.6, p.2331-2342, 2008.

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C. et al. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.175-187, 2004.

MAIA, C.; CANTARUTTI, R.B. Acumulação de nitrogênio e carbono no solo pela adubação orgânica e mineral contínua na cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v.8, n.1, p.39-44, 2004.

MURUGANANDAM, S.; ISRAEL, D.W.; ROBARGE, W.P. Nitrogen transformations and microbial communities in soil aggregates from three tillage systems. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v.74, p.120-129, 2010.

PEREIRA, H.S.; LEÃO, A.F.; VERGINASSI, A. et al. Ammonia volatilization of urea in the out-of-season corn. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.6, p.1685-1694, 2009.

SANGOI, L.; ERNANI, P.R.; LECH, V.A. et al. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> em decorrência da forma de aplicação de ureia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.4, p.687-692, 2003.

SCIVITTARO, W.B.; MURAOKA, T.; BOARETTO, A.E. et al. Utilização de nitrogênio de adubos verde e mineral pelo milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.917-926, 2000.



SCHERER, H.W.; ZHANG, Y.S. Studies on the mechanisms of fixation and release of ammonium in paddy soils after flooding. I. Effect of iron oxides on ammonium fixation. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Amsterdam, v.162, p.593- 597, 1999.

SCHNEIDERS, M.; SCHERER, H.M. Fixation and release of ammonium in flooded rice soils as affected by redox potential. **Europe Journal of Agriculture**, Amsterdam, v.8, p.181-189, 1998.

TEIXEIRA, L.A.J.; TESTA, V.M; MIELNICZUK, J. Nitrogênio do solo, nutrição e rendimento de milho afetados por sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.18, p.207-214, 1994.

TURNER, F.T.; PATRICK, W.H. Chemical changes in waterlogged soils as a result of oxygen depletion. In: Transactions of the IX International Soil Science Congress. Riga, **International Soil Science Society**, v.4, p.53-65, 1968.

VAN CLEEMPUT, O. Subsoils: chemo and biological denitrification, N<sub>2</sub>O and N<sub>2</sub> emissions. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Ithaca, v.52, p.187-194, 2004.

YANG, J.E; SKOGLEY, E.O; SCHAFF, B.E. et al. A simple spectrophotometric determination of nitrate in water, resin and soil extracts. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.62, n.4, p.1108-1115, 1998.

WEBER, M.A.; MIELNICZUK, J. Estoque e disponibilidade de nitrogênio no solo em experimento de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, p.429-437, 2009.

WOHLENBERG, E.V.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. et al. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.5, p.891-900, 2004.

Recebido para publicação em 20/09/2014 e aprovado em 22/12/2014.

