Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

**Perdas de amônia por volatilização em solo tratado com uréia,
na presença de resíduos culturais**

Daily Soraya Aquino Duarte

**Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre
em Agronomia. Área de concentração: Solos e Nutrição de
Plantas**

Piracicaba

2007

Daily Soraya Aquino Duarte
Engenheira Agrônoma

**Perdas de amônia por volatilização em solo tratado com uréia,
na presença de resíduos culturais**

Orientador:

Prof. Dr. **JORGE DE CASTRO KIEHL**

**Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre
em Agronomia. Área de concentração: Solos e Nutrição de
Plantas**

Piracicaba

2007

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Duarte, Daily Soraya Aquino

Perdas de amônia por volatilização em solo tratado com uréia, na presença de resíduos culturais / Daily Soraya Aquino Duarte . - - Piracicaba, 2007.

64 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007.
Bibliografia.

1. Amônia 2. Nitrogênio 3. Resíduos agrícolas 4. Solos 5. Uréia 6. Volatilização I. Título

CDD 631.4

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

Aos meus queridos pais, Napoleón e Ninfa,

Aos meus irmãos, Riuston, Aida e Liz

A minha amada filha Laurenn,

Por todo amor e confiança.

A José Francisco Garcia

Pelo amor, carinho, companheirismo, compreensão e incentivo às minhas conquistas.

OFEREÇO E DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, saúde e por guiar e iluminar o meu caminho.

Ao Dr. Jorge de Castro Kiehl, Professor Titular da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, do Departamento de Ciência do Solo, pela orientação, confiança, apoio e amizade.

A Dra. Sonia Maria de Stefano Piedade, Professora Titular da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, do Departamento de Estatística e Experimentação Agronômica, pelo auxílio prestado.

Ao Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo, sua comissão de coordenação, seus professores, pelas oportunidades, ensinamentos e ajuda.

A Universidade Nacional de Assunção, Faculdade de Ciências Agrárias, por conceder a possibilidade de realizar o curso, e meus sinceros agradecimentos aos professores Miguel Angel Ruiz Diaz, José Quinto Paredes, Ramón Martinez Ojeda e Lorenzo Mesa López, pela confiança e apoio.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos para o curso de mestrado.

A todos, que de alguma forma contribuíram para a realização desta etapa de minha vida.

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	7
1 INTRODUÇÃO.....	8
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	10
2.1 Nitrogênio no sistema solo-planta-atmosfera	10
2.2 Uréia como fonte nitrogenada.....	11
2.3 Resíduos culturais, atividade da uréase volatilização de amônia	15
2.4 Métodos para medir perdas de N por volatilização de amônia.....	18
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	20
3.1. Local do experimento	20
3.2 Coleta de amostras e caracterização do solo utilizado no experimento	20
3.3 Tratamentos e delineamento experimental	21
3.4 Instalação e desenvolvimento do experimento	21
3.5 Formula para calcular as perdas de N-NH ₃	23
3.6 Determinação do pH do solo no final do experimento	23
3.7 Análises estatísticas	24
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1 Perdas diárias.....	25
4.2 Perdas acumuladas.....	29
4.3 Perdas totais.....	32
4.4 Perdas percentuais	36
4.5 Efeito da aplicação de uréia e dos resíduos vegetais sobre o pH	38
5 CONCLUSÕES	40
REFERÊNCIAS	41
APÊNDICES	51

RESUMO

Perdas de amônia por volatilização em solo tratado com uréia, na presença de resíduos culturais

O presente experimento de laboratório foi realizado no Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP, em Piracicaba, SP, com o objetivo de avaliar o efeito da presença de diferentes resíduos vegetais na superfície do solo sobre as perdas de amônia por volatilização decorrentes da aplicação de uréia em três doses. Foram utilizadas amostras da camada 0-0,20m de um Nitossolo Vermelho Eutroférico do município de Piracicaba, SP. Os tratamentos constaram de arranjo fatorial com três repetições envolvendo quatro doses de uréia (0, 60, 120 e 180 mg dm⁻³ de N), aplicadas na superfície da terra, e quatro formas de cobertura da terra: sem cobertura e com cobertura constituída de fragmentos de folhas de plantas de milho, cana-de-açúcar e amendoim forrageiro, igualmente aplicados na superfície na quantidade de 29g de matéria seca por frasco (equivalente a 5 Mg ha⁻¹). A volatilização de amônia foi avaliada em frascos de plástico de 1,6 L de capacidade, fechados, contendo 0,4 kg de terra umedecida e, para captar a amônia volatilizada, um disco de papel de filtro tratado com 1 mL de H₂SO₄ de concentração variando de 0,05 a 0,5 mol L⁻¹. Esse disco era substituído diariamente, sendo o ácido remanescente no filtro exposto à amônia, titulado com NaOH 0,02 mol L⁻¹ na presença de indicador bromocresol verde. Ao final do período experimental de 40 dias, amostras da camada superficial (0-0,05m) de terra dos frascos foram coletadas com amostrador especial e submetidas à determinação do pH em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹. Os picos de máxima perda de amônia por volatilização ocorreram no 3º e no 12º dia após a aplicação da uréia, não havendo efeito dos resíduos culturais sobre a distribuição das perdas ao longo do tempo. As perdas de amônia aumentaram com o aumento da dose de uréia aplicada. Nas terras sem cobertura e naquelas contendo resíduos de milho e de amendoim forrageiro os aumentos foram mais expressivos para as doses menores (60 e 120 mg dm⁻³ de N-uréia), enquanto nas terras com restos de cana-de-açúcar os maiores aumentos ocorreram para a dose mais alta (180 mg dm⁻³ de N-uréia). A presença de restos de cultura de amendoim forrageiro na superfície do solo aumentou a quantidade de amônia volatilizada das terras tratadas ou não com uréia, enquanto a de restos de cultura de cana-de-açúcar reduziu a quantidade volatilizada. Os restos de cultura de milho exerceram pouca influência nas perdas de NH₃ por volatilização. O pH da camada superficial das terras aumentou em mais de duas unidades com a aplicação de uréia e dos resíduos vegetais.

Palavras-chave: Volatilização de amônia; Uréia; Resíduos culturais; Resíduos vegetais; Milho; Amendoim forrageiro; Cana-de-açúcar

ABSTRACT

Ammonia losses by volatilization from urea applied to soil as influenced by plant residues

A laboratory experiment was carried out at the University of São Paulo, Piracicaba campus, Brazil, in order to evaluate how the presence of different plant residues on soil surface will affect ammonia volatilization losses from urea fertilizer applied on soil surface in three rates. Samples from 0-0.2m layer of a ferric Red Latosol located in Piracicaba, State of São Paulo, Brazil, were used in the study. Treatments consisted of a factorial arrangement with three replicates involving four rates of urea (0, 60, 120 and 180 mg dm⁻¹ of N), applied at soil surface and four forms of soil cover: with no cover and with cover consisted of leaf fragments of corn, sugar-cane and peanut plants also applied on the surface at the rate of 29 g of dried material per flask (equivalent to 5 Mg per hectare). Ammonia volatilization was measured in closed 1.6 L flasks containing 0.4 kg of moistened soil sample and, to capture NH₃, a filter paper disk treated with 1 mL of H₂SO₄ of concentration varying from 0.05 to 0.5 mol L⁻¹. The paper filter was substituted every day and the remaining acid in the exposed filter was titrated with NaOH 0.02 mol L⁻¹ in the presence of bromocresol green. At the end of the experimental period of 40 days, samples of the surface layer (0-0.05 m) of the soil in the flasks were collected using a special sampler and subjected to determination of the pH in CaCl₂ 0.01 mol L⁻¹. Maximum volatilization occurred at the 3rd and the 12th day of urea application and no influence was observed of the plant residues on the distribution of the losses during the experimental period. Ammonia losses increased with the rate of urea application. For the bare soil samples and for samples covered with corn and peanut residues, these increases were more evident when urea was applied at the smaller rates (60 and 120 mg dm⁻¹ of urea-N), whereas for samples covered with sugar-cane residues, increases were higher when the higher rate (180 mg dm⁻¹ of urea-N) was used. Covering the soil with peanut residues increased the amount of volatilized ammonia in the samples treated and not treated with urea, while covering with sugar-cane residues reduced the volatilization losses. Corn residues showed to have only small influence on ammonia loss. The pH at the surface of the soil samples increased more than two units as the result of urea and plant residues application.

Keywords: Ammonia volatilization; Urea; Crop residues; Plant residues; Corn; Peanut; Sugar-cane

1 INTRODUÇÃO

Dentre os nutrientes vegetais oriundos do solo, o nitrogênio destaca-se como um dos mais limitantes ao crescimento vegetal. O uso de fertilizantes nitrogenados pode ser responsável por um grande aumento na produção mundial de grãos. No Brasil, a uréia vem sendo empregada há muito tempo como fonte de nitrogênio para as culturas, mas a partir do final da última década, intensificou-se a produção desse material, tornando-se assim o mais importante adubo nitrogenado comercializado no Brasil.

O modo como a uréia é aplicada ao solo pode influenciar substancialmente as perdas de amônia por volatilização. A aplicação a certa profundidade, ou a incorporação da uréia à camada superficial do terreno, são práticas que conduzem a menores perdas do que a aplicação superficial, porque aumentam a chance de a amônia ser retida no solo (RODRIGUES; KIEHL, 1986).

A perda de amônia por volatilização é um fenômeno que tem preocupado os agricultores e é originada da mineralização do nitrogênio da matéria orgânica ou da adição de fertilizantes. A volatilização da amônia somente se torna importante em solos com pH 7 ou acima, condição inexistente em muitos dos nossos solos, a não ser que tenham recebido calagem excessiva. Uma perda por volatilização puramente química é a que se dá pela reação de nitrito (NO_2^-) com certos sais de amônio e com a uréia (COELHO, 1973).

Perdas por volatilização de até 78% do N aplicado podem ocorrer após a aplicação de uréia sobre a superfície do solo (LARA CABEZAS et al., 1997) e essas perdas variam muito em função do teor de matéria orgânica (RODRIGUES; KIEHL, 1986).

Sangoi et al. (2003) estudaram em laboratório a volatilização de NH_3 em decorrência da forma de aplicação de uréia, do manejo de resíduos e do tipo de solo e observaram que a aplicação superficial da uréia aumentou as perdas em relação à aplicação de forma incorporada, independentemente do manejo dos restos culturais, das características texturais, do teor de matéria orgânica e da CTC do solo.

A quantidade de nitrogênio que se perde por meio da volatilização de amônia pode ser influenciada pela presença de resíduos culturais sobre a superfície do solo. Isto é relevante principalmente no sistema de plantio direto (SPD), em que a palha e os restos vegetais são deixados na superfície do solo onde a maioria dos agricultores efetua a adubação de cobertura

com uréia. Além disso, o incremento do conteúdo de matéria orgânica (MO), verificado nas camadas superficiais do solo cultivado em SPD, tende a aumentar a população microbiana e a CTC (BAYER; MIELNICZUK, 1997). Com isto, tem-se maior atividade de urease, que cataliza a hidrólise da uréia, favorecendo a volatilização de NH_3 .

Pouca atenção tem sido dada ao grande problema das perdas de amônia quando se emprega a uréia como fonte nitrogenada, havendo necessidade de pesquisas que permitam não somente avaliar a extensão dessas perdas em nossas condições de solo e clima, como também mostrar técnicas de aplicação adequadas ao seu melhor controle.

A quantidade do material orgânico incorporado e o tipo de vegetação (PANCHOLY; RICE, 1972), concentração do substrato, nível de umidade, temperatura e pH do solo (SANTOS et al., 1991; ARUNACHALAN; MELKANIA, 1999) são fatores que influenciam a atividade da urease. Devido a estes fatos, tem-se necessidade de pesquisas que permitam mostrar com mais clareza qual fenômeno está mais relacionado com a atividade enzimática do solo, para se procurar medidas que ajudem a controlar as perdas de amônia.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da presença de diferentes resíduos vegetais na superfície do solo sobre as perdas de amônia por volatilização decorrentes da aplicação de uréia em três doses.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Nitrogênio no sistema solo-planta-atmosfera

O nitrogênio é um dos nutrientes exigidos em maior quantidade pelas culturas, estando também entre os mais aplicados na forma de fertilizante. À medida que a agricultura se intensifica e as produtividades aumentam, o consumo de N deverá aumentar como já vem acontecendo em várias culturas e regiões do País.

O N aplicado ao solo sob a forma de adubos verdes ou fertilizantes mineral pode ter diferentes destinos: parte é absorvida pelas plantas; parte é perdida do sistema solo-planta por processos de lixiviação, volatilização, erosão e desnitrificação (LARA CABEZAS et al., 2000) e o restante permanece no solo, predominantemente na forma orgânica (COELHO et al., 1991; SCIVITTARO et al., 2003).

O conhecimento dos processos envolvidos na incorporação e transformação do N no sistema solo-planta-atmosfera é indispensável ao desenvolvimento de estratégias de manejo que aumentem o seu aproveitamento pelas culturas. No sistema solo-planta-atmosfera, a quantidade mais significativa do N encontra-se na atmosfera em forma combinada de N_2 (MELGAR et al., 1999a). O processo de transferência do nitrogênio atmosférico para o solo se dá por (i) descargas elétricas na atmosfera, quando o nitrogênio elementar N_2 é convertido em óxidos como N_2O , NO , NO_2 e NO_3^- ; (ii) fixação biológica do nitrogênio por bactérias assimbióticas de vida livre ou em associações simbióticas com leguminosas; e (iii) fixação industrial do N, por meio da qual são obtidos por síntese a amônia NH_3 e o ácido nítrico (HNO_3), compostos esses que constituem matérias primas para obtenção dos fertilizantes nitrogenados.

Em solo não fertilizado, o N disponível do solo é praticamente todo proveniente da mineralização do N orgânico presente na matéria orgânica, a qual é realizada por microorganismos que transformam o N orgânico nas formas amoniacal (NH_4^+) e nítrica (NO_3^-), que são as duas formas minerais passíveis de serem absorvidas pelas plantas. Considera-se, como uma estimativa média, que sejam liberados anualmente cerca de 20 a 30 kg ha^{-1} de N para cada ponto percentual de matéria orgânica contida no solo (STEVENSON, 1986). Sendo assim, Raij (1991) enfatiza que a mineralização da matéria orgânica do solo é, em geral, favorecida pelo revolvimento do solo ou pela elevação brusca do pH, que ocorre com a calagem de solos ácidos.

Monteiro (2000) relata que a velocidade do processo de mineralização pode variar com o tempo e, principalmente, com a natureza do resíduo orgânico em decomposição, além de depender da atividade microbiana do solo.

Por outro lado a intensidade de mineralização da matéria-orgânica adicionada ao solo depende de diversos fatores, tais como: tipo de solo, teor de matéria-orgânica e N-total, relação C:N, teor de lignina e polifenóis do material incorporado, tempo de uso do solo, pH, temperatura, umidade, suprimento de nutrientes inorgânicos e interações solo-planta (BLACK, 1968; JANSSEN; PERSSON, 1982; MYERS et al., 1994).

Os complexos orgânicos, tais como o ácido húmico, acumulam-se no solo devido ao seu elevado grau de recalcitrância e resistência ao ataque microbiano, existindo uma série de outros fatores que controlam a cinética de transformação da matéria-orgânica em N-inorgânico (JANZEN; KUCEY, 1988). De forma geral, após a adição de material orgânico ao solo poderá ocorrer imobilização ou mineralização do elemento pela biomassa microbiana, sendo que os dois processos ocorrem simultaneamente, e a quantidade de nitrogênio do material em decomposição é que determinará qual deles será predominante (CASSMAN; MUNNS, 1980).

Nas regiões tropicais e subtropicais cultivadas intensivamente, a diminuição do potencial produtivo dos solos tem sido atribuída à erosão e à não reposição da matéria orgânica do solo (MOS). O não revolvimento do solo e a reposição do carbono orgânico, por meio de culturas de cobertura, têm sido medidas fundamentais na adição e busca da manutenção da MOS, a qual se caracteriza como a principal responsável pela capacidade de troca de cátions (CTC) dos solos tropicais e sobretudo como importante fonte de N para as culturas (AMADO et al., 2002; SOUSA; LOBATO, 2004).

2.2 Uréia como fonte nitrogenada

A perda de amônia por volatilização vem sendo um importante problema quando se emprega a uréia como fonte nitrogenada por ser o adubo nitrogenado mais consumido no país principalmente por apresentar baixo custo. Portanto, há urgência de estudos que permitam não somente avaliar a grandeza dessas perdas como também indicar alternativas para seu controle, o que seria importante para melhorar a eficiência das fertilizações com uréia.

A indústria brasileira de fertilizantes tem mostrado grande progresso principalmente no que se refere à produção de amônia e uréia. A uréia pode ser considerada como um dos mais importantes fertilizantes nitrogenados devido à alta concentração de N e baixo custo. Porém, é uma fonte susceptível às perdas por volatilização de amônia. A uréia atende no Brasil cerca de 63% da demanda de fertilizantes nitrogenados (BARBOSA FILHO et al., 2001). Durante o ano de 2000, cerca de 52% do N consumido no Brasil foi na forma de uréia, 19% como sulfato de amônio e 12,1% como nitrato de amônio (MONESMITH, 2001).

A uréia contém 45% de nitrogênio solúvel em água, apresentando caráter higroscópico. No solo, o nitrogênio da uréia transforma-se em amônia (NH_3) gasosa, passando em seguida a nitrato. O sulfato de amônio apresenta 21% de nitrogênio e 23% de enxofre solúvel em água (MALAVOLTA et al., 2002). Na agricultura brasileira as fontes nitrogenadas mais utilizadas são a uréia e o sulfato de amônio (BARBOSA FILHO et al., 2004). Se houver umidade, ocorrem degradação e dissolução do grânulo de uréia aplicado ao solo. Ao entrar em contato com a urease presente no solo e em resíduos vegetais, a uréia sofre hidrólise, produzindo carbonato de amônio $[(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3]$. O acúmulo de carbonato de amônio causa aumento no pH e esse evento pode ser acompanhado pela emissão de N-NH_3 (MELGAR et al., 1999b) resultante da decomposição do carbonato.

Devido ao custo da adubação nitrogenada ser elevado, faz-se necessário o uso de fontes nitrogenadas que apresentem menores perdas de nitrogênio, ou seja fertilizantes com formas de nitrogênio menos susceptíveis à volatilização. Fontes de nitrogênio como nitrato de amônio, nitrato de cálcio e sulfato de amônio não estão sujeitas às perdas por volatilização de NH_3 em solos ácidos (RIBEIRO, 1996).

Quando se emprega a uréia, a quantidade e o modo com que é aplicada ao solo são fatores que exercem acentuada influência na sua eficiência devido ao comportamento singular desse fertilizante no solo, notadamente no que se refere às transformações químicas, aos efeitos sobre o pH e às perdas por volatilização. essas perdas de maneira geral, aumentam com o aumento da dose de uréia empregada (VOLK, 1959; WAHHAB et al., 1960; OVERREIN; MOE, 1967; CONNELL et al., 1979). Barreto (1991) estudou as perdas por volatilização de amônia de duas fontes de N em função da dose, profundidade de aplicação e umidade em três diferentes solos; concluiu que o aumento das doses de nitrogênio acarretou acréscimo nas perdas de NH_3 . Trivelin

et al. (1994) verificou que na maioria das vezes, maiores doses do adubo resultam em perdas mais elevadas de amônia por volatilização.

Grande quantidade de N aplicado em superfície pode ser perdida do solo por volatilização. As perdas de NH_3 por volatilização em ecossistemas agrícolas são governadas por fatores de manejo, de solo e de clima. Os fatores de manejo mais importantes são a localização do adubo no solo, as doses do fertilizante utilizadas e a presença ou não de resíduos vegetais sobre a superfície do solo. O N do fertilizante, quando aplicado na superfície do solo, é susceptível às perdas por volatilização. Essas perdas, que podem corresponder a até 50% do N aplicado (TERMAN, 1979) diminuem o valor do fertilizante e contribuem para a poluição atmosférica podem ser favorecidas quando se utilizam calcário e doses altas do fertilizante.

Os efeitos da cobertura do solo sobre a volatilização de amônia apresentam resultados divergentes, sendo que em algumas situações as perdas aumentam e, em outras as perdas com cobertura vegetal não diferem das do solo descoberto ou são menores (ANJOS; TEDESCO, 1976). A cobertura vegetal reduz o ritmo de evaporação de água e aumenta a atividade da enzima urease, reduzindo ou aumentando as perdas de amônia por volatilização, respectivamente (CORSI, 1994; SÁ, 1996).

Quando a uréia é aplicada à superfície do solo, as perdas de amônia por volatilização são pronunciadas devido à pouca oportunidade que o NH_3 tem de ser absorvido pelo terreno. Entretanto, se aplicada a certa profundidade, ou se incorporada à camada superficial do solo, as perdas podem ser reduzidas. Barreto (1991) e Silva et al. (1995) verificaram um claro efeito da incorporação do fertilizante em diminuir as perdas. No entanto, esta prática é ainda pouco utilizada pelos agricultores na adubação nitrogenada em cobertura, seja ela por falta de equipamentos adequados para incorporar, por danos que essa incorporação pode promover no sistema radicular, ou ainda, pelo aumento do custo da aplicação.

O entendimento das condições de equilíbrio químico e de como elas interagem, afetando as forças que promovem a volatilização da amônia, possibilita compreender melhor os mecanismos da volatilização, permitindo fazer previsões das perdas de nitrogênio por volatilização (AVNIMELECH; LAHER, 1977).

A uréia apresenta limitações quanto à aplicação superficial, devido à possibilidade de perdas por volatilização de NH_3 . A reação inicial pode levar o pH do solo para próximo de 9,0 nas imediações dos grânulos desse fertilizante, intensificando a volatilização de NH_3

(OVERREIN; MOE, 1967). A prática de incorporação das fontes nitrogenadas mais susceptíveis às perdas de amônia possibilita considerável redução na volatilização (CANTARELLA et al., 1999; RODRIGUES; KIEHL, 1986; KIEHL, 1989). Camargo (1990) não observou perdas de amônia provenientes da uréia e aquamônia quando aplicadas em sulcos, na profundidade de 25 cm. Assim, a aplicação da uréia em profundidade é fundamental para reduzir as perdas de NH_3 por volatilização.

Trivelin et al. (2002), estudando perdas do nitrogênio da uréia no sistema-planta em dois ciclos de cana-de-açúcar, concluíram que as maiores perdas do N-uréia ocorreram quando o fertilizante foi aplicado na superfície.

Apesar de a incorporação de uréia ao solo a 4 ou 5 cm de profundidade ser efetiva na redução das perdas de NH_3 por volatilização (ERNST; MASSEY, 1960), essa prática não é recomendada para pastagens porque prejudica o sistema radicular da planta forrageira, diminuindo o vigor de rebrota subsequente da pastagem (CORSI; NUSSIO, 1993). Nesses casos, é conveniente aplicar a uréia quando a superfície do solo estiver seca, pois a falta de água impede sua hidrólise e, conseqüentemente, a volatilização (VOLK, 1959; ERNEST; MASSEY, 1960; BOUWMEESTER et al., 1985).

A incorporação da uréia em áreas de cana colhida sem despalha a fogo elimina ou reduz substancialmente as perdas de NH_3 por volatilização e aumenta a eficiência de uso do N quando comparado com a aplicação sobre a palha (TRIVELIN et al., 2002; CANTARELLA et al., 1999; GAVA et al., 2001). Entretanto, a incorporação do fertilizante acrescenta custos adicionais de operações, aumenta o tempo de aplicação do adubo ao solo e exige tratores com maior potência. Uma alternativa viável seria incorporar a uréia através da ação de chuvas ou por água de irrigação, mas, como a hidrólise da uréia é rápida, a precipitação pluvial em quantidade suficiente tem que ocorrer dentro de 1 a 3 dias para ser efetiva (FRENEY et al., 1994).

De modo geral, diferentes fontes são equivalentes quando aplicadas adequadamente, não apresentando diferenças significativas quanto às perdas de NH_3 por volatilização (BYRNES, 2000a). Entretanto, fontes nitrogenadas amídicas, em determinadas condições, têm maior disposição para a perda de N por volatilização. Scharf e Alley (1988) sugeriram a aplicação do fertilizante nitrogenado misturado a um doador de H^+ . Dessa forma, Lara Cabezas et al. (1994) constatou que, quando uma mistura de vinhaça com uréia, era aplicada em solo argiloso, com

elevada acidez potencial, as perdas eram de 16% do N aplicado, enquanto que, se aplicada a um solo menos argiloso, as perdas passavam para 26%.

2.3 Resíduos culturais, atividade da urease e volatilização de amônia

Os resíduos culturais com cobertura do solo constituem importante componente em sistemas agrícolas, protegendo o solo da erosão facilitando a ciclagem de nutrientes melhorando os atributos físicos, químicos e biológicos. A incorporação dos resíduos orgânicos nas frações granulométricas do solo ocorre de forma diferenciada o material mais fresco está associado às frações mais grosseiras de areia, e o mais decomposto, ligado às frações mais finas de argila, refletindo tanto o grau de humificação quanto a suscetibilidade à decomposição pela biomassa microbiana (BAYER et al., 2002).

A presença de resíduos culturais sobre a superfície do solo influencia a quantidade de nitrogênio que se perde através da volatilização de amônia, especialmente quando a uréia é aplicada superficialmente (VARSA et al., 1995). No SPD a presença de resíduos vegetais sobre a superfície também reduz o contato da uréia com o solo (MENGEL, 1996), diminuindo a adsorção de NH_4^+ aos colóides orgânicos e inorgânicos e facilitando a volatilização de amônia.

O acúmulo de resíduos culturais na superfície do solo pode exercer acentuada influência no processo de volatilização de NH_3 devido à presença de uma enzima nesses resíduos. Essa enzima, chamada urease, é responsável pela hidrólise da uréia, que se converte em carbonato de amônio; este composto, por sua vez, desdobra-se facilmente em gás NH_3 (amônia), CO_2 e água, conforme as reações (1) e (2):

A urease é uma enzima extracelular produzida por bactérias, actinomicetos e fungos do solo, estando presente, ainda, em restos vegetais. Devido às características da urease, fatores que influenciam a atividade dos microorganismos também influenciam a hidrólise da uréia, promovendo grande variação na taxa de hidrólise para diferentes solos (REYNOLDS; WOLF, 1987).

A presença de urease em solo foi observada pela primeira vez por Rotini (1935); depois surgiram trabalhos publicados por Conrad (1940; 1942; 1943), evidenciando que os solos continham urease e indicando ser tal enzima a responsável pela conversão do nitrogênio da uréia em amônia. A distribuição da urease no solo e os fatores que influenciam sua atividade têm importância relevante em vista do expressivo uso da uréia na agricultura como fertilizante.

O atraso na hidrólise reduz a concentração de NH_3 presente na superfície do solo, diminuindo o potencial de volatilização e permitindo o deslocamento da uréia para horizontes mais profundos (CHRISTIANSON et al., 1990).

Embora as enzimas estejam presentes no solo em grandes quantidades, apenas pouco mais de 50 têm sido identificadas ou sua atividade no solo detectada (MAJER; PEPPER; GERBA, 2000). Ainda assim, sabe-se que elas apresentam grande importância na decomposição de resíduos e na fertilidade do solo, na eficiência do uso de fertilizantes, nas interações entre as plantas e no estado de oxi-redução do solo, além de servirem como indicadoras da qualidade do solo e da presença de poluentes. Das enzimas encontradas no solo, Moreira e Siqueira (2002) selecionam as hidrolases (sulfatases), as oxiredutases (desidrogenase), ou transferases (aminotransferases) e as liases (descarboxilases) como as responsáveis pelas principais catálises ocorridas no solo.

Segundo Alef e Nannipieri (1998), a partir da introdução de novos métodos de determinação, pesquisas envolvendo enzimas de solo têm aumentado nos últimos anos. Entretanto, por causa da dificuldade para extrair enzimas do solo, costuma-se avaliar sua presença medindo-se sua atividade por meio de procedimentos de laboratório. Contudo, os mesmos autores sugerem que a interpretação dos resultados seja feita com cautela, pois esses procedimentos laboratoriais representam o potencial máximo da atividade enzimática, já que as condições de incubação são escolhidas para assegurar uma taxa de catálise ótima, como presença de excesso de substrato e condições ideais de pH e temperatura.

A atividade da urease está intimamente relacionada à presença de matéria orgânica no solo (MYERS; McGARITY, 1968; DICK, 1984). Promovendo a atividade microbiológica e a produção de urease a adição de resíduos orgânicos ao solo acelera a hidrólise da uréia (CHING; KROONTJE, 1963; MOE, 1967; BEYROUTY et al., 1988) nas camadas mais superficiais do solo onde há maior quantidade de matéria orgânica principalmente quando ocorreram aplicações recentes desse material (CONRAD, 1940; BARRETO; WESTERMAN, 1989).

Segundo Volk (1959), a hidrólise da uréia ocorre em ampla faixa de umidade de solo. Quanto mais rápida a hidrólise, maior o potencial de perda de NH_3 . A adição de água tem influência direta sobre a hidrólise, promovendo aumento da difusão da uréia e, conseqüentemente, maior contato com a urease no solo (SAVANT et al., 1987). A uréia aplicada é rapidamente hidrolisada em dois ou três dias (BYRNES, 2000b). Fatores climáticos, como temperatura, e fatores do solo, como o pH, potencial de água, aeração e textura são considerados principais determinantes da atividade da urease. Estudos sobre atividade da urease mostraram que a velocidade de hidrólise da uréia é aumentada com o acréscimo na concentração do substrato até atingir uma quantidade de uréia adicionada suficiente para saturar a enzima (DOUGLAS; BREMNER, 1971; TABATABAI; BREMNER, 1972).

Estudos têm mostrado que a atividade da urease é aumentada com um aumento de temperatura de 10 °C para 40°C. Longo et al. (1991) e Zantua e Bremner (1977) observaram que a atividade aumentou significativamente com o aumento da temperatura de 40 °C para 70°C, mas houve decréscimo rápido de 70 °C para 80°C. Essas perdas podem ser ainda maiores quando há elevação da temperatura e aumento da velocidade do vento (FRENEY et al., 1983). Por outro lado, a ocorrência de chuvas superiores a 16 mm solubiliza a uréia, removendo-a da palhada e incorporando-a ao solo, o que reduz as perdas por volatilização (DENMEAD et al., 1990; FRENEY et al., 1991).

Outros fatores também afetam sobremaneira a volatilização de NH_3 temperatura, umidade, trocas gasosas, taxa de evaporação de água, pH, poder tampão, capacidade de troca catiônica, classe textural e atividade da urease (HARGROVE, 1988; BYRNES, 2000) Outros autores ainda consideram como fatores a concentração de N amoniacal na água de alagamento, o pH da água, a velocidade do vento, a quantidade de N aplicado e a época e método da aplicação de N (MIKKELSEN et al., 1978; VLEK; STUMPE, 1978; VLEK; CRASWELL, 1981).

2.4 Métodos para medir perdas de N por volatilização de amônia

As determinações de perdas de amônia do solo por volatilização têm sido avaliadas em condição de laboratório, casa-de-vegetação e campo através dos mais variados métodos. O método direto caracteriza-se em captar a amônia desprendida do solo em uma solução de ácido diluído, como H_2SO_4 ou HCl . A captação da amônia pode ser praticada em sistema dinâmico, no qual um fluxo contínuo de ar é passado sobre o solo, arrastando, assim, a amônia desprendida (RODRIGUES, 1983) ou utilizando-se um sistema estático, sem fluxo de ar.

Métodos indiretos de determinação de perdas de amônia são efetuados por meio do uso de fertilizante marcado (^{15}N). Os métodos diretos utilizam os sistemas fechado-estático, fechado-dinâmico e semi-aberto estático (LARA CABEZAS; TRIVELIN, 1990). Os métodos diretos e indiretos apresentam limitações: o primeiro, devido às determinações isotópicas apresentarem alto custo, e o segundo, por necessitar de correção da quantidade de amônia volatilizada do fertilizante. Lara Cabezas e Trivelin (1990), avaliando a eficiência de um coletor semi-aberto estático na quantificação da NH_3 volatilizada da uréia aplicada ao solo, concluíram que o sistema coletor do tipo semi-aberto estático interferiu no processo de volatilização de amônia do solo, reduzindo a porcentagem e a quantidade de NH_3 volatilizada do fertilizante.

Há vários métodos para mediar a volatilização do nitrogênio no sistema solo-planta, sendo o mais usado a retenção do NH_3 em soluções ácidas, o método micrometeorológico, o balanço de massa e a taxa de acúmulo de nitrogênio pela cultura. Os três primeiros permitem medir tanto a volatilização de amônia proveniente do solo como aquela da parte aérea das plantas (FRENEY et al., 1991; DENMEAD et al., 1993; HARTWIG; BOCKMAN, 1994), enquanto a taxa de acúmulo de nitrogênio pelas plantas possibilita apenas determinar a volatilização de amônia pela parte aérea da cultura.

Em estudos de campo, os sistemas semi-abertos são muito utilizados por possuírem algum tipo de abertura, permitindo o equilíbrio da atmosfera interna do aparelho com o ar exterior. Lara Cabezas (1987), trabalhando com sistema aberto para determinação de perdas de NH_3 por volatilização, obteve alta eficiência de recuperação da amônia com esse sistema, concluindo que o mesmo é de fácil manuseio e de baixo custo de confecção e operação.

Na utilização destes coletores deve-se estar atento para que as condições de umidade do solo dentro e fora do coletor sejam aproximadamente as mesmas. Deve ser dada também especial

atenção aos intervalos de troca dos absorvedores de espumas embebidas com ácido sulfúrico e a eventuais reposições de água dentro do coletor, devido à ocorrência de chuvas na parte externa (SPOLIDORIO et al., 1997; LARA CABEZAS et al., 1999). A utilização desses coletores, associada à adubação com fertilizante enriquecido com ^{15}N , permite determinar qual a contribuição do N nativo do solo e do fertilizante para o N total volatilizado (LARA CABEZAS et al., 1999). Ante ao exposto, verifica-se que ao utilizar adubos enriquecidos no isótopo ^{15}N e realizando-se o balanço de massa no sistema solo-planta é possível quantificar as perdas gasosas totais do sistema. Estimativas de perdas por volatilização de amônia de fertilizantes nitrogenados têm sido efetuadas por sistemas coletores. Entretanto, deve-se verificar até que ponto tais sistemas podem interferir no processo de volatilização de amônia do solo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local do experimento

O estudo constou de um experimento desenvolvido em laboratório do Departamento de Ciência do Solo da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Universidade de São Paulo (USP), em Piracicaba, São Paulo.

3.2 Coleta de amostras e caracterização do solo utilizado no experimento

Amostras de um Nitossolo Vermelho Eutroférico do município de Piracicaba - SP (22°42'30'' S, 47°38'00'' W, e aproximadamente 546 m de altitude) foram coletadas à profundidade de 0–0,2 m, secas ao ar, passadas em peneira com malha de 2 mm de abertura e homogeneizadas. As principais propriedades químicas desse solo (Tabela 1) foram determinadas utilizando-se os procedimentos analíticos descritos por Raij et al. (2001).

O pH foi determinado em solução de CaCl_2 0,01 mol L^{-1} na relação de 1:2,5. Fósforo, cálcio e magnésio foram extraídos com resina trocadora de íons e o potássio por Mehlich 1. A quantificação do fósforo e do potássio foi determinada por colorimetria e fotometria de chama, respectivamente, enquanto a de cálcio e de magnésio foi realizada por espectrofotometria de absorção atômica.

A análise granulométrica do solo foi efetuada pelo método do densímetro (EMBRAPA, 1997) tendo-se encontrado teores de areia, silte e argila iguais a 480, 170 e 350 g Kg^{-1} , respectivamente. A classificação textural foi realizada de acordo com normas da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, obtendo-se a classificação “argilosa”.

Tabela 1 – Caracterização química do Nitossolo Vermelho Eutroférico utilizado no experimento

pH ⁽¹⁾	M.O	P	K	Ca	Mg	H+Al	Al	S.B	CTC	V
	(g dm^{-3})	(mg dm^{-3})	----- m mol _c dm^{-3} -----			-----			%	
5,2	26	5	4,0	33,5	11,2	28,0	0,7	48,7	76,7	63

⁽¹⁾ Em (CaCl_2) 0,01 mol L^{-1}

3.3 Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos foram constituídos por arranjo fatorial envolvendo quatro doses de N-uréia (0, 60, 120 e 180 mg dm⁻³) aplicadas na superfície e quatro tipos de cobertura da terra: sem cobertura e com cobertura constituída de fragmentos de folhas de plantas de milho, cana-de-açúcar e amendoim forrageiro. O delineamento foi inteiramente casualizado com três repetições.

3.4 Instalação e desenvolvimento do experimento

A volatilização da amônia foi avaliada pelo método direto com sistema de captação estático. A câmara de volatilização constou de um frasco cilíndrico de plástico, de 1,6 L de capacidade, boca larga, medindo internamente 110 mm de diâmetro e 165 mm de altura. O frasco era dotado de tampa plástica com rosca. A terra (terra fina seca ao ar) foi colocada nos frascos na quantidade de 0,4 kg (0,48L), resultando coluna de aproximadamente 30 mm de altura. A terra foi umedecida a 50% da capacidade de retenção de água e mantida em repouso no frasco por período de três dias antes da aplicação da uréia e dos resíduos vegetais.

A uréia foi distribuída na superfície da terra na forma de solução, aplicando-se volumes de 10, 20 e 30 mL para as respectivas doses de 60, 120 e 180 mg dm⁻³ de N.

Em seguida, amostras de resíduos vegetais foram aplicadas na superfície das terras na quantidade de 28,6 g de matéria seca por frasco (equivalente a 5 Mg ha⁻¹). Esses resíduos foram obtidos coletando-se amostras de folhas de lavouras situadas na região de Piracicaba quando as plantas se encontravam em fase de florescimento secando-as em estufa a 60°C durante três dias e cortando-as em fragmentos com aproximadamente 1 cm de comprimento.

Para captar a amônia volatilizada empregou-se um disco de papel de filtro qualitativo de 90 mm de diâmetro, tratado com 1 mL de H₂SO₄ de concentração variando de 0,05 a 0,5 mol L⁻¹.

O disco de papel de filtro, que aqui será chamado de coletor, era mantido em posição horizontal a cerca de 50 mm acima da terra, através de suporte em forma de coroa. Esse suporte foi obtido removendo-se a o fundo de um copo plástico descartável de 500 mL e recortando-se a borda superior de modo a se obter cerca de dez pontas; a finalidade das pontas era reduzir a área de contato do coletor com o suporte (Figura 1).

Figura 1 – Frasco e coletor de amônia utilizado no experimento

Cerca de cinco gotas de água destilada eram aplicadas ao coletor para mantê-lo úmido durante 24 h. Duas gotas de indicador laranja de metila eram aplicadas para saber se o ponto de saturação do ácido sulfúrico estava próximo (KIEHL, 1989).

Ao final de cada período de permanência ou exposição do coletor no interior do frasco, ou seja, a cada 24 h, o citado coletor era substituído por um novo. Em seguida, o coletor exposto à amônia era dobrado uma vez e colocado em recipiente de plástico descartável com capacidade de 250 mL e diâmetro de 100 mm. A esse recipiente eram adicionados cerca de 75 mL de água destilada e três gotas de solução alcoólica de bromocresol verde (1,3 g em 200 mL de álcool etílico). O ácido remanescente no coletor era, então, titulado com solução padronizada de NaOH $0,02 \text{ mol L}^{-1}$ até a viragem do indicador de amarelo para azul.

Como a neutralização de todo o ácido contido no coletor ocorria em prazos superiores a dez minutos devido à lenta liberação do mesmo do interior das fibras do papel, exigindo nesse período novas adições de NaOH e demandando um tempo excessivamente longo, passou-se a considerar como ponto final de titulação aquele em que a coloração azul do indicador se mantinha estável por cerca de dez segundos.

O fato de se antecipar o ponto final de titulação não altera o resultado final porque a quantidade de amônia volatilizada é calculada pela diferença entre o volume de NaOH gasto na titulação da amostra e o volume gasto na titulação de prova em branco (papel de filtro tratado

com a mesma quantidade de H_2SO_4 e deixado por igual período no interior de frasco sem terra), sendo o critério de ser antecipar o ponto final de titulação adotado para todas as amostras. O cálculo por diferença tem a vantagem, ainda, de não exigir a padronização do H_2SO_4 utilizado no coletor, embora o volume aplicado em cada período de exposição deva ser mantido constante em todas as parcelas, inclusive na prova em branco.

Durante o período experimental foram registradas diariamente as temperaturas máximas e mínimas do ambiente.

3.5 Formula para calcular as perdas de NH_3

A quantidade de nitrogênio volatilizada sob a forma de NH_3 em cada período foi calculada pela expressão:

$$\text{mg N-NH}_3 \text{ volatilizado} = (V' - V) \times 0,28$$

Onde:

V' = volume de NaOH $0,002 \text{ mol L}^{-1}$ gasto na titulação do ácido contido na prova em branco;

V = volume de NaOH $0,02 \text{ mol L}^{-1}$ gasto na titulação do ácido remanescente nas parcelas do experimento;

A partir desses dados foram calculadas as perdas diárias, as perdas acumuladas em cada período, as perdas totais (perdas acumuladas no último período) e as perdas percentuais (perdas totais expressas em porcentagem do nitrogênio aplicado).

3.6 Determinação do pH do solo no final do experimento

No final do experimento, a camada superficial de 0-0,05 m da terra dos frascos foi coletada e submetida à determinação do pH em CaCl_2 . A coleta dessas amostras foi feita com auxílio de amostrador idealizado por KIEHL et al. (1991), que permite a retirada de terra de vasos em camadas de espessura conhecida.

3.7 Análises estatísticas

Os resultados relativos às perdas de amônia em miligramas e ao pH do solo foram submetidos à análise de variância (teste F) utilizando-se o aplicativo “Statistical Analysis System” (SAS INSTITUTE, 2000). As médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados originais do experimento encontram-se nos APÊNDICES, assim como os resultados das análises de variância.

As temperaturas máximas e mínimas observadas no interior do laboratório no transcorrer do experimento acham-se na Figura 2. A maior temperatura, 35,0°C foi observada no sexto e sétimo dias, e a menor, 20,0°C foi observada do décimo quinto ao vigésimo dia. A temperatura média geral foi de 25,56°C.

Figura 2 – Temperaturas máximas e mínimas do ambiente durante a execução do experimento

4.1 Perdas diárias

As perdas diárias de amônia estão representadas nas Figuras 3, 4, 5 e 6. Esses resultados permitem avaliar a intensidade da volatilização de NH_3 nos diferentes períodos e o efeito dos tratamentos na distribuição dessas perdas.

Observa-se que as perdas mais elevadas de amônia ocorreram entre o 3º e o 12º dia após a aplicação dos tratamentos, e que os tratamentos pouco alteraram essa distribuição.

A Figura 3 apresenta as perdas diárias observadas para as diferentes coberturas (resíduos vegetais), quando a uréia não foi aplicada. Os picos de máxima perda em geral ocorreram no terceiro dia, sendo a amostra descoberta a que mais perdeu amônia, seguida daquelas contendo os

Figura 3 – Perdas diárias de amônia por volatilização em amostras de um Nitossolo Vermelho Eutroférico não tratadas com uréia, na ausência e na presença de resíduos culturais de milho, cana-de-açúcar e amendoim forrageiro

Figura 4 – Perdas diárias de amônia por volatilização em amostras de um Nitossolo Vermelho Eutroférico tratadas com uréia na dose 60 mg dm^{-3} , na ausência e na presença de resíduos culturais de milho, cana-de-açúcar e amendoim forrageiro

Figura 5 – Perdas diárias de amônia por volatilização em amostras de um Nitossolo Vermelho Eutroférico tratadas com uréia na dose 120 mg dm^{-3} , na ausência e na presença de resíduos culturais de milho, cana-de-açúcar e amendoim forrageiro

Figura 6 – Perdas diárias de amônia por volatilização em amostras de um Nitossolo Vermelho Eutroférico tratadas com uréia na dose 180 mg dm^{-3} , na ausência e na presença de resíduos culturais de milho, cana-de-açúcar e amendoim forrageiro

resíduos culturais de amendoim forrageiro, milho e cana-de-açúcar. Nessa época (3º dia) a intensidade máxima de perda foi de 3 mg N-NH₃ por frasco. Como não foi aplicada a uréia, a amônia volatilizada e captada no coletor foi produzida, certamente, pelo processo de decomposição microbiológica dos resíduos vegetais aplicados na superfície das terras.

Nota-se que a presença de restos de amendoim forrageiro produziu maior quantidade de amônia que a dos demais resíduos, provavelmente porque as leguminosas, sendo mais ricas em N que as gramíneas, tendem a se decompor e a liberar N mineral (NH₃) mais rapidamente. As amostras com restos de milho ficaram em segundo lugar quanto à liberação de NH₃, enquanto as tratadas com restos de cana-de-açúcar apresentaram as menores perdas.

Para a dose de 60 mg dm⁻³ (Figura 4), as perdas nos três primeiros dias ocorreram de forma similar à observada quando não foi aplicado N-uréia, mas foram mais intensas. Os picos de máxima perda ocorreram no 12º dia, alcançando intensidade máxima de 6 mg de N-NH₃ por frasco. A elevação da temperatura ambiente ocorrida entre o quinto e o décimo quinto dia talvez tenha contribuído para aumentar a quantidade de NH₃ desprendida nesse período. Inúmeros experimentos mostram que as perdas de amônia por volatilização aumentam com a elevação da temperatura (WAHHAB et al., 1957; ERNST; MASSEY, 1960; FENN; KISSEL, 1974, 1975; FRENEY et al., 1981; HARPER et al., 1983; CLAY et al., 1990; WHITEHEAD; RAISTRICK, 1991). De acordo com Anghinoni (1985), outras perdas de N podem ocorrer simultaneamente, mascarando e até sobrepondo o efeito das perdas gasosas (NH₃). A presença de restos de amendoim forrageiro na superfície continuou resultando nas maiores perdas, enquanto a de restos de cana-de-açúcar, nas menores. É interessante notar que nas terras contendo os resíduos de cana-de-açúcar as perdas foram bem menores que nas terras sem cobertura vegetal; os restos de milho, contudo, não influíram nas perdas.

À medida que a dose de N-uréia foi aumentando as perdas de NH₃ também aumentaram. Quando foram aplicados 120 mg dm⁻³ de N-uréia as perdas aumentaram notavelmente em até três vezes mais que o tratamento sem N-uréia, superando os 10 mg de N-NH₃ por frasco (Figura 5). Nos três primeiros dias o comportamento foi similar ao observado para as doses 0 e 60 mg dm⁻³. Nota-se que no 12º dia as perdas alcançaram seu máximo valor, sendo maiores no solo descoberto. Mesmo assim, as perdas continuaram elevadas na presença de restos de amendoim forrageiro e bem menores quando havia restos de cana-de-açúcar. Em geral, as perdas aumentam com a elevação da dose de uréia fornecida da temperatura ambiente. Volk (1959) verificou que a

quantidade volatilizada aumentava em proporção maior que a dos acréscimos das doses, enquanto Wahhab et al. (1960) encontraram proporcionalidade entre perda e dose.

Nas amostras de solo tratadas com a maior dose de N-uréia (180 mg dm^{-3} de N) não houve alteração da época de ocorrência do ponto de máxima perda, que continuou sendo o 12º dia (Figura 6). A quantidade de amônia volatilizada foi ainda maior que nas doses mais baixas, atingindo 12 mg de N-NH₃. A cobertura com restos de milho resultou em perdas mais acentuadas que as demais coberturas, principalmente nas épocas de maior intensidade de volatilização. Novamente, a elevação da temperatura ambiente ocorrida entre o quinto e décimo quinto dia (Figura 2) talvez tenha contribuído para aumentar a quantidade de NH₃ desprendida nesse período.

Em todos os tratamentos a volatilização da amônia teve início já nos primeiros dias, confirmando observações anteriores de que a hidrólise da uréia no solo se dá com relativa rapidez (BYRNES, 2000). A maior parte da amônia perdeu-se entre o terceiro e o décimo segundo dia, porém, mesmo após essa época, certa quantidade de N continuou a se volatilizar ainda por várias semanas, exigindo tomada de leituras até o quadragésimo dia, onde as perdas praticamente se estabilizaram. Talvez esse fato se deva ao fenômeno de dessorção da amônia retida fisicamente pelo solo; de acordo com Parr e Papendick (1966), essa dessorção é lenta e pode persistir por várias semanas ou meses.

4.2 Perdas acumuladas

As perdas acumuladas permitem melhor avaliação do efeito dos tratamentos sobre a volatilização de NH₃ no solo durante o período experimental (Figuras 7, 8, 9 e 10).

Figura 7 – Perdas acumuladas de amônia por volatilização em amostras de um Nitossolo Vermelho Eutroférico não tratadas com uréia na ausência e na presença de resíduos culturais de milho, cana-de-açúcar e amendoim forrageiro

Figura 8 – Perdas acumuladas de amônia por volatilização em amostras de um Nitossolo Vermelho Eutroférico tratadas com uréia na dose 60 mg dm^{-3} de N, na ausência e na presença de resíduos culturais de milho, cana-de-açúcar e amendoim forrageiro

Figura 9 – Perdas acumuladas de amônia por volatilização em amostras de um Nitossolo Vermelho Eutroférico tratadas com uréia na dose 120 mg dm^{-3} de N, na ausência e na presença de resíduos culturais de milho, cana-de-açúcar e amendoim forrageiro

Figura 10 – Perdas acumuladas de amônia por volatilização em amostras de um Nitossolo Vermelho Eutroférico tratadas com uréia na dose 180 mg dm^{-3} de N, na ausência e na presença de resíduos culturais de milho, cana-de-açúcar e amendoim forrageiro

A intensidade máxima de perdas, revelada pela maior inclinação dos segmentos de retas, ocorreu na primeira semana para todos os tratamentos e na segunda semana para os tratamentos que receberam aplicação de uréia. À medida que as doses de uréia aumentaram, as perdas também aumentaram.

Conforme já comentado no item anterior (4.1 Perdas diárias) o resíduo cultural da cana-de-açúcar contribuiu para reduzir apreciavelmente a volatilização de amônia, principalmente nas doses mais baixas de uréia (Figuras 8 e 9). O efeito foi menor na dose mais alta provavelmente porque a quantidade de amônia desprendida foi muito superior à capacidade de imobilização da microbiota do solo; além disso, a concentração de NH_3 e o pH do meio podem ter atingido valores excessivamente altos para os microrganismos decompositores, reduzindo sua atividade. Inúmeros experimentos mostram que elevadas concentrações de NH_3 podem exercer efeito tóxico aos organismos do solo (ENO; BLUE, 1954; ENO et al., 1955; NÖMMIK; NILSON, 1963; KIEHL; COBRA NETTO, 1973).

Ao contrario do que ocorreu com os restos de cana-de-açúcar, os resíduos de amendoim forrageiro contribuíram para aumentar a volatilização de NH_3 , principalmente nas doses mais baixas de uréia (Figuras 8 e 9). Como já foi comentado, é possível que esse efeito se deva ao maior teor de N normalmente presente nas leguminosas, o que teria acelerado a decomposição do resíduo e a liberação de N mineral (NH_3). Sabe-se que resíduos apresentando baixa relação C/N (< 25) tendem a liberar N mineral para o meio, enquanto aqueles com relação C/N mais elevada (> 25) tendem a imobilizar o N do solo.

4.3 Perdas totais

Os resultados da análise da variância das perdas totais (em mg de N por frasco) apresentada na Tabela 5 do APÊNDICE revelaram baixo coeficiente de variação ($\text{CV}=6,1\%$) e efeito altamente significativo para os fatores cobertura ($F=98,51^{**}$), doses de uréia ($F=239,72^{**}$) e interação entre esses fatores ($F=12,92^{**}$). As Figuras 11, 12, 13 e 14 ilustram a influência dos diferentes tratamentos sobre as perdas de amônia por volatilização.

Figura 11 – Perdas totais de amônia por volatilização em amostras de um Nitossolo Vermelho Eutroférico não tratadas com uréia, na ausência e na presença de resíduos culturais de milho, cana-de-açúcar e amendoim forrageiro

Figura 12 – Perdas totais de amônia por volatilização em amostras de um Nitossolo Vermelho Eutroférico tratadas com uréia na dose 60 mg dm^{-3} de N, na ausência e na presença de resíduos culturais de milho, cana-de-açúcar e amendoim forrageiro

Figura 13 – Perdas totais de amônia por volatilização em amostras de um Nitossolo Vermelho Eutroférico tratadas com uréia na dose 120 mg dm^{-3} de N, na ausência e na presença de resíduos culturais de milho, cana-de-açúcar e amendoim forrageiro

Figura 14 – Perdas totais de amônia por volatilização em amostras de um Nitossolo Vermelho Eutroférico tratadas com uréia na dose 180 mg dm^{-3} de N, na ausência e na presença de resíduos culturais de milho, cana-de-açúcar e amendoim forrageiro

As comparações das médias das perdas totais de amônia com base no teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade constam da Tabela 2. O aumento da dose de uréia aplicada foi acompanhado de aumento na quantidade de amônia volatilizada em todos os modos de cobertura, porém de maneiras diferentes. Nas terras sem cobertura e naquelas contendo resíduos de milho e de amendoim forrageiro as perdas de NH_3 aumentaram expressivamente já nas doses mais baixas de 60 e 120 mg dm^{-3} de N-uréia. Na presença de resíduos de cana-de-açúcar, contudo, as perdas aumentaram de forma mais expressiva somente quando a dose mais elevada de 180 mg dm^{-3} de N foi aplicada.

Tabela 2 – Perdas totais de amônia por volatilização em Nitossolo Vermelho Eutroférico, em função do emprego de diferentes doses de uréia e resíduos culturais como cobertura do solo

Resíduos culturais	Dose de uréia, mg dm^{-3} de N			
	0	60	120	180
	----- mg N- NH_3 -----			
Sem cobertura	14,47 cB	30,21 bB	55,83 aA	59,36 aA
Milho	15,48 dB	29,97 cB	40,9 bB	60,27 aA
Cana-de-açúcar	11,58 bB	14,45 bC	18,43 bC	46,48 aB
Amendoim forrageiro	31,25 bA	46,91 aA	50,49 aAB	57,00 aAB

Médias seguidas de uma ou mais letras em comum, maiúsculas nas colunas e minúscula nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%. **Coefficiente de variação:** 6,1%.

Quanto ao efeito dos restos de cultura, observa-se na Tabela 2 que, quando a uréia não foi aplicada, as perdas de NH_3 foram significativamente maiores na presença de restos de amendoim forrageiro do que nas terras sem cobertura ou com cobertura de milho e cana-de-açúcar. Conforme já comentado, supõe-se que esse fato se deva ao maior teor de N nos resíduos de leguminosas, o que permite decomposição mais rápida desses resíduos e liberação de N mineral na forma de NH_3 . Para as doses 60 e 120 mg dm^{-3} de N-uréia as perdas continuaram elevadas na presença de restos de amendoim forrageiro, mas mostraram-se reduzidas quando havia restos de cana-de-açúcar; nesses casos, as quantidades volatilizadas foram significativamente menores que no solo sem cobertura ou com cobertura de milho. Provavelmente essa redução das perdas deva-

se à imobilização do N pelos microrganismos durante a decomposição do resíduo. Na dose mais alta de 180 mg dm^{-3} de N-uréia as perdas na presença de cobertura de restos de cana-de-açúcar aumentaram apreciavelmente em relação às doses mais baixas, mas ainda assim foram menores do que nas terras sem cobertura ou com cobertura de resíduos de milho.

Vários pesquisadores têm observado que a presença de resíduos vegetais na superfície do solo contribui para aumentar as perdas de amônia por volatilização após o emprego de uréia, atribuindo-se esse fato à presença da enzima urease nesses resíduos (McINNES et al., 1986; NELSON, 1982; SANTOS et al., 1991). Segundo Barreto e Westerman (1989), a atividade da urease na presença de resíduos de palha pode ser de 18 a 25 vezes maior do que a de locais sem resíduos, provavelmente devido à elevação do pH do meio pela presença dos resíduos, associado ao aumento da quantidade de urease, enzima usualmente presente com certa abundância nos resíduos orgânicos (McCARTY; BREMNER, 1991; ZANTUA; BREMNER, 1976; ZANTUA; DUMENIL; BREMNER, 1977;). Os resultados obtidos no presente estudo, entretanto, não concordam plenamente com a literatura, pois, com exceção do amendoim forrageiro, a presença dos restos vegetais não alterou ou até diminui a volatilização de NH_3 (Tabela 2).

4.4 Perdas porcentuais

A Tabela 3 apresenta as perdas de amônia por volatilização, calculadas em porcentagem do total aplicado e descontando-se previamente a quantidade volatilizada nas amostras não tratadas com uréia. Este cálculo foi feito tomando-se como premissa que a quantidade de amônia produzida pela decomposição dos resíduos vegetais e da matéria orgânica nativa do solo não se altera com a adição de uréia em diferentes doses, o que pode não ser verdade. Assim, é necessário levar em conta essa possibilidade ao se interpretar os resultados apresentados a seguir, até que estudos mais específicos sejam realizados.

Tabela 3 – Perdas totais percentuais de amônia por volatilização em Nitossolo Vermelho Eutroférico, em função do emprego de diferentes doses de uréia e resíduos culturais como cobertura do solo

Resíduos culturais	Dose de uréia, mg dm ⁻³ de N		
	60	120	180
	----- % -----		
Sem cobertura	78,70	103,38	74,79
Milho	72,45	63,54	74,64
Cana-de-açúcar	14,35	17,16	58,14
Amendoim forrageiro	78,30	48,09	42,90

Avaliando-se os resultados por esse novo ângulo, nota-se que na dose 60 mg dm⁻¹ de N-uréia as perdas de NH₃ nas terras sem cobertura e com cobertura com resíduos de milho e amendoim foram praticamente iguais, variando em torno de 72% a 79% do N aplicado, enquanto naquelas contendo resíduos de cana-de-açúcar, as perdas foram menores que 15%. Isso significa que houve redução de 82% nas perdas devido à presença desse resíduo.

Para a dose de 120 mg dm⁻¹ de N-uréia, a perda na terra descoberta foi superior a 100% do N fornecido, indicando que o método superestimou a volatilização nesse tratamento. Na presença de resíduos de cana-de-açúcar a perda caiu para 17,16%, o que significa redução de 83% na volatilização. Os resíduos de amendoim forrageiro, por sua vez, reduziram a volatilização para 48,09% do N aplicado, ou seja, uma redução de 53% em relação ao solo desnudo.

Na maior dose de 180 mg dm⁻¹ de N-uréia, a contribuição dos resíduos foi menor e ocorreu apenas para os restos de amendoim forrageiro (redução de 43%) e de cana-de-açúcar (redução de 22%).

4.5 Efeito da aplicação de uréia e dos resíduos vegetais sobre o pH

Os valores de pH da camada superficial de 0-0,5 cm das terras ao final do experimento encontram-se na Tabela 4. A análise de variância desses resultados apresentados na Tabela 5 do APÊNDICE revela baixo coeficiente de variação (CV=3,8%), assim como efeito não significativo para o fator cobertura ($F=1,57^{NS}$) e efeito altamente significativo para os fatores dose de uréia ($F=5,62^{**}$) e interação cobertura x dose de uréia ($F=3,18^{**}$).

Tabela 4 – Efeito do emprego de diferentes coberturas do solo e doses de uréia no pH de amostras de um Nitossolo Vermelho Eutroférico, ao final dos 40 dias do experimento

Resíduos culturais	pH	Dose de uréia, mg dm ⁻³ de N			
	original	0	60	120	180
Sem cobertura	5,2	6,7 abA	6,5 bA	7,3 aA	7,2 abA
Milho	5,2	6,6 aA	6,7 aA	6,8 aA	7,0 aA
Cana-de-açúcar	5,2	6,5 aA	6,7 aA	6,8 aA	6,9 aA
Amendoim forrageiro	5,2	6,5 aA	7,1 aA	6,4 aA	6,7 aA

Médias seguidas de uma ou mais letras em comum, maiúsculas nas colunas e minúscula nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%. **Coeficiente de variação:** 3,8%.

O pH das amostras variou entre 6,4 e 7,3, valores bem superiores ao pH original da terra (5,2). Essa diferença ocorreu também na amostra que não recebeu uréia e resíduo vegetal e, nesse caso, o aumento de pH pode ser atribuído à amônia produzida durante a decomposição da matéria orgânica nativa do solo. As avaliações de amônia volatilizada (Figuras 3, 7 e 11; Tabela 2) mostraram que houve, de fato, produção de NH₃ na terra não tratada.

O efeito da uréia no pH, 40 dias após sua aplicação, foi significativo somente nas amostras de terra sem cobertura com resíduos vegetais (Tabela 3). O pH aumentou de 6,7 para 7,2 e 7,3 quando as doses mais altas foram aplicadas.

Diversos trabalhos revelam que o pH do solo nas proximidades da região de aplicação de uréia pode elevar-se até pH 9,0 ou mais durante os primeiros 5 ou 10 dias da aplicação (ACQUAYE; CUNNINGHAM, 1965; OVERREIN; MOE, 1967; CHRITIANSON, 1989; CLAY et al., 1990; SENGIK; KIEHL, 1995). No presente estudo, os valores de pH foram bem menores que 9,0 certamente porque foram medidos 40 dias após a aplicação da uréia, ou seja, em época

posterior àquela em que a concentração de NH_3 no meio foi máxima. As Figuras 4, 5 e 6 sugerem que essa época ocorreu em torno do 12º dia, quando as taxas de volatilização de amônia eram as mais altas. A partir desse ponto o pH tende a diminuir porque (a) a concentração de NH_3 no meio se reduz e (b) parte da amônia do solo é oxidada a nitrato (NO_3^-), processo microbiológico com forte ação acidificante.

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente estudo permitem concluir que:

- a) Os picos de máxima perda de amônia por volatilização ocorreram no 3º e no 12º dia após a aplicação da uréia, não havendo efeito dos resíduos culturais sobre a distribuição das perdas ao longo do tempo;
- b) As perdas de amônia aumentaram com o aumento da dose de uréia aplicada. Nas terras sem cobertura e naquelas contendo resíduos de milho e de amendoim forrageiro os aumentos foram mais expressivos para as doses menores (60 e 120 mg dm⁻³ de N-uréia), enquanto nas terras com restos de cana-de-açúcar os maiores aumentos ocorreram para a dose mais alta (180 mg dm⁻³ de N-uréia);
- c) A presença de restos de cultura de amendoim forrageiro na superfície do solo aumentou a quantidade de amônia volatilizada das terras tratadas ou não com uréia, enquanto a de restos de cultura de cana-de-açúcar reduziu a quantidade volatilizada. Os restos de cultura de milho exerceram pouca influência nas perdas de NH₃ por volatilização;
- d) O pH da camada superficial das terras aumentou em mais de duas unidades com a aplicação de uréia e dos resíduos vegetais.

REFERÊNCIAS

ACQUAYE, D.K; CUNNINGHAM, R.K. Losses of nitrogen by ammonia volatilization from surface-fertilized tropical forest soils. **Tropical Agriculture**, v. 42, n 3, p. 281-292, 1965.

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Ed.). **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. San Diego: Academic Press, 1998. 576 p.

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 241-248, 2002.

ANJOS, J.T.; TEDESCO, M.J. Volatilização de amônia proveniente de dois fertilizantes aplicados em solos cultivados. **Científica**, Jaboticabal, v. 4, n. 1, p. 49-55, 1976.

ANGHINONI, I. Adubação nitrogenada nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: SANTANA, M.B.M. (Ed.). **Adubação nitrogenada no Brasil**. Ilhéus: CEPLAC; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1985. p.1-18.

ARUNACHALAN, A.; MELKANIA, N.P. Influence of soil properties on microbial populations, activity and biomass in humid subtropical mountains ecosystems of India. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 30, p. 217-223, 1999.

AVNIMELECH, Y.; LAHER, M. Ammonia volatilization from soil: equilibrium considerations. **Soil Science. Society of America Journal**, Madison, v. 41 p, 1080-1084, 1977.

BARBOSA FILHO, M.P.; FAGERIA, N.K.; SILVA, O.F. da. **Aplicação de nitrogênio em cobertura no feijoeiro irrigado**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2001. 8 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Circular Técnica, 49).

_____. Fontes e métodos de aplicação de nitrogênio em feijoeiro irrigado submetido a três níveis de acidez do solo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 4, p. 785-792, 2004.

BARRETO, J.J.; WESTERMAN, R.L. Soil urease activity in winter wheat residue management systems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 53, p. 1455-1458, 1989.

BARRETO, M.C.V. **Perdas por volatilização da amônia de duas fontes de N em função da dose, profundidade de aplicação e umidade inicial de três diferentes solos**. 1991. 164 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 105-112, 1997.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T.J.C.; MARTIN NETO, L.; FERNÁNDEZ, S.V. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 54, p. 101-109, 2002

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

BOUWMEESTER, R.J.; VLEK, P.L.G.; STUMPE, J.M. Effects of environmental factors on ammonia volatilization from a urea fertilizer soil. **Soil Science Society of America Journal**, v.49, p.376-381, 1985.

BLACK, A.L. N and P fertilization for production of crested wheatgrass and native grass in northeastern Montana. **Agronomic Journal**, Madison, v.60, p.213-216, 1968.

BYRNES, B.H. Liquid fertilizers and nitrogen solutions. In: INTERNATIONAL FERTILIZER DEVELOPMENT CENTER. **Fertilizer manual**. Alabama: Kluwer Academic, 2000. p. 20-44.

CAMARGO, P.B. **Dinâmica do nitrogênio dos fertilizantes: uréia (15N) e aquamônia (15N)** incorporados ao solo na cultura de cana-de-açúcar. 1989. 104 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba. 1990.

CANTARELLA, H.; ROSSETO, R.; BARBOSA, W.; PENNA, M.J.; RESENDE, L.C.L. Perdas de nitrogênio por volatilização da amônia e resposta da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada, em sistema de colheita de cana sem queima prévia. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS DO BRASIL, 7., 1999, Londrina. Piracicaba: STAB, 1999. p. 82-87.

CASSMAN, K.G.; MUNNS, D.N. Nitrogen mineralization as affected by soil moisture, temperature and depth. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, n. 6, p. 1233-1237, 1980.

CONRAD, J.P. Catalytic activity causing the hydrolysis of urea in soil as influenced by several agronomic factors. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 5, p. 238-241, 1940.

_____. The occurrence and origin of urease like activities in soil. **Soil Science**, Baltimore, v. 54, p. 357-380, 1942.

_____. Some effects of developing alkalinity and other factors upon urease like in soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 5, p. 171-174, 1943.

COELHO, F.S. **Fertilidade do solo**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1973. 384 p.

COELHO, AM.; FRANÇA, G.C.; BAHIA, A.F.C.; GUEDES, G.A. Balanço de nitrogênio ^{15}N em Latossolo Vermelho-Escuro, sob vegetação de cerrado, cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 95, p. 187-193, 1991.

CONNEL, J.H.; MEYER, R.D.; MEYER, J.L.; CARLSON, R.M. Gaseous ammonia losses following nitrogen fertilization. *California Agriculture*, Berkeley, v. 33, p. 11-12, 1979.

CORSI, M.; NUSSIO, L.G. Manejo do capim-elefante: correção e adubação do solo. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DA PASTAGEM, 10., 1992, Piracicaba. **Anais ...** Piracicaba: FEALQ, 1993. p. 87-115.

CORSI, M. Uréia como fertilizante na produção de forragem. In: PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C. de; FARIA, V.P. de (Ed.). **Uréia fertilizante**. 2.ed. Piracicaba: FEALQ, 1994. p. 239-267.

CHING, W.T.; KROONTJE, W. Urea hydrolysis and subsequent loss of ammonia. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 27, p. 316-318, 1963.

CHRISTIANSON, C.B. Ammonia volatilization from urea nitricphosphate and urea applied to the soil surface. **Fertilizer Research**, The Hague, v. 19, p. 183-189, 1989.

CHRISTIANSON, C.B.; BYRNES, B.H.; CARMONA, G. A comparison of the sulfur and oxygen analogs of phosphoric triamide urease inhibitors in reducing urea hydrolysis and ammonia volatilization. **Fertilizer Research**, The Hague, v. 26, p. 21-27, 1990.

CLAY, D.E.; MALZER, G.L.; ANDERSON, J.L. Ammonia volatilization from urea as influenced by soil temperature, soil water content, and nitrification and hydrolysis inhibitors. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 54, p. 263-266, 1990.

DENMEAD, O.T.; FRENEY, J.R.; JACKSON, A.V.; SMITH, J.W.B.; SAFFIGNA, P.G.; WOOD, A.W.; CHAPMAN, L.S. Volatilization of ammonia from urea and ammonium sulfate applied to sugarcane trash in north Queensland. In: AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGARCANE TECHNOLOGISTS, 12., 1990, Brisbane. **Proceedings ...** Brisbane: Watson Ferguson, 1990. p. 73-78.

DENMEAD, O.T.; FRENEY, J.R.; DUNIN, F.X.; JACKSON, A.V.; REYENGA, W.; SAFFIGNA, P.G. Effect of canopy development on ammonia uptake and loss from sugarcane fields fertilized with urea. In: AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGARCANE TECHNOLOGISTS, 15., 1993, Brisbane. **Proceedings ...** Brisbane: Watson Ferguson, 1993. p. 285-292.

DICK, W.A. Influence of long-term tillage and crop rotation combinations on soil enzyme activities. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 48, p. 569-574, 1984.

DOUGLAS, L.A.; BREMNER, J.M. A rapid method of evaluating different compounds as inhibitors of urease activity in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 3, p. 309-315, 1971.

EMBRAPA. **Manual de análise do solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

ENO, C.F.; BLUE, W.G. The effect of anhydrous ammonia on nitrification and the microbiological population in sandy soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 18, p. 178-181, 1954.

ENO, C.F.; BLUE W.G.; GOOD J.M. Jr. The effect of anhydrous ammonia on nematodes, fungi, bacteria, and nitrification in some Florida soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 19, p. 55-58, 1955.

ERNST, J.W.; MASSEY, H.F. The effects of several factors on volatilization of ammonia formed from urea in soil. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 24, n. 1, p. 87-90, 1960.

FENN, L.B.; KISSEL, D.E. Ammonia volatilization from surface applications of ammonium compound on calcareous soils: II. Effects of temperature and rate of ammonium nitrogen application. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 38, p. 606-610, 1974.

FRENEY, J.R.; DENMEAD, O.T.; WATANABE, I.; CRASWELL, R.T. Ammonia and nitrous oxide losses following applications of ammonium sulfate to flooded rice. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v. 32, p. 37-45, 1981.

FRENEY, J.R.; DENMEAD, O.T. Volatilization of ammonia. In: FRENEY, J.R.; SIMPSON, J.R. (Ed.). **Gaseous loss of nitrogen from plant-soil systems**. The Hague: Martinus Nijhoff; Dr. W. Junk, 1983. p.1-32.

FRENEY, J.R.; DENMEAD, O.T.; SAFFIGNA, P.G.; WOOD, A.W.; CHAPMAN, L. S.; HURNEY, A.P. Ammonia loss from sugarcane field as affected by fertilizer placement, irrigation and canopy development. In: AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGARCANE TECHNOLOGISTS, 13., 1991, Bundaberg, 1991. **Proceedings ...** Bundaberg: Watson Ferguson, 1991. p.38-43.

FRENEY, J.R.; DENMEAD, O.T.; WOOD, A.W.; SAFFIGNA, P.G. Ammonia loss following urea addition to sugar cane trash blankets. **Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists**, Melbourne, v. 16, p. 114-121, 1994.

GAVA, G.J.C.; TRIVELIN, P.C.O. Perdas de amônia proveniente da mistura de vinhaça e uréia aplicada ao solo com e sem cobertura de palha de cana-de-açúcar. **STAB. Açúcar, Alcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.19, n.3. p. 40-42, 2001.

HARPER, L.A.; CATCHPOOLE, V.R.; DAVIS, R.; WEIR, K.L. Ammonia volatilization: soil, plant, and microclimat effects on diurnal and seasonal fluctuations. **Agronomy Journal**, Madison, v. 75, p. 212-218, 1983.

HARGROVE, W.I., Soil environmental and management factors influencing ammonia volatilization under field conditions, In: BOCK, B.R.; KISSEL, D.E. (Ed.) **Ammonia volatilization from urea fertilizers**. Alabama: NFDC, TVA, 1988. chap. 2, p. 17-36.

HARTWIG, L.H.; BOCKMAN, O.C. Ammonia exchange between crops and air. **Norwegian Journal of Agricultural Sciences**, Oslo, Suppl. 14, p.1-31, 1994.

JANSSON, S.L.; PERSSON, J. Mineralization and immobilization of soil nitrogen. In: STEVENSON, F.J. (Ed). **Nitrogen in agricultural soils**. Madison: ASA, 1982. p.229-252.

JANZEN, H.H.; KUCEY, R.M.N.C. N and mineralization of crop residues as influenced by crop species and decomposition regime. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 106, p. 35-41, 1988.

KIEHL, J.C.; COBRA NETTO, A. Capacidade de retenção de amônia de alguns solos do Município de Piracicaba. **O Solo**, Piracicaba, v. 65, p. 60-64, 1973.

KIEHL, J.C. **Emprego de sais inorgânicos no controle de volatilização de amônia decorrente da aplicação de uréia no solo**. 1989. 108 p. Tese de Livre Docência - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.

KIEHL, J.C.; LABATE M.L.; DEMÉTRIO C.G.B. Amostrador de camadas de terra em vasos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, p. 113-116, 1991.

LARA CABEZAS, W.A.R. **Calibração de um método para estimar perdas por volatilização de N-NH₃ de fertilizantes aplicados no solo**. 1987. 201 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1987.

LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O. Eficiência de um coletor semi-aberto estático na quantificação de N-NH₃ volatilizado da uréia aplicada ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, p. 345-352, 1990.

LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O.; SCHIAVINATO Jr., P.; BOARETTO, A.E. Perdas gasosas de nitrogênio de vinhaça e uréia em solos cultivados com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, p. 463-469, 1994.

LARA CABEZAS, W.A.R.; KORNDÖRFER, G.H.; MOTTA, S.A. Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: II. Avaliação de fontes sólidas e fluidas em sistema de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 489-496, 1997.

LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O.; BENDASSOLLI, J.A.; SANTANA, D.G.; GASHO, G.J. Calibration of a semi-open static collector for determination of ammonia volatilization from nitrogen fertilizer. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 30, n. 3/4, p. 389-406, 1999.

LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O.; KORNDÖRF, G.H.; PEREIRA, S. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluida de cobertura na cultura do milho em sistema plantio direto no Triângulo Mineiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, p. 363-376, 2000.

LONGO, R.M.; MELO, W.J.; PAVAN, S.A.; CHELLI, R.A.; LEITE, S.A.A. Efeito da secagem ao ar, tempo e condições de armazenamento, concentração de uréia, temperatura, pH e tempo de incubação na atividade da urease em dois solos do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., 1991, Porto Alegre. **Anais ...** Porto Alegre: SBCS, 1991. p. 89.

MAJER, R. M.; PEPPER, I. L.; GERBA, C. P. **Environmental microbiology**. 1 ed. Canadá: Academic Press, 2000. 585 p.

MALAVOLTA, E.; GOMES, F. P.; ALCARDE, J. C. **Adubos e adubações**. São Paulo: Nobel, 2002. 200 p.

MENGEL, D. **Manejo de nutrientes na cultura do milho de alta produtividade**. Piracicaba: Potafós, 1996. 16 p. (Informações Agronômicas, 73).

MELGAR, R.; CAMOZZI, M.E.; FIGUEROA, M.M. Nitrogenados. In: _____. **Guía de fertilizantes, enmiendas y productos nutricionales**. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuária, 1999. cap. 1, p. 13-25.

MIKKELSEN, D.S.; DE DATTA, S.K.; OBCEMEA, W.N. Ammonia volatilization losses from flooded rice soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 42, n. 5, p. 725-730, 1978.

MOE, P.G. Nitrogen losses from urea as affected by altering soil urease activity. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 31, p. 380-382, 1967.

MONTEIRO, H.C.F. **Dinâmica de decomposição e mineralização de nitrogênio, em função da qualidade de resíduos de gramíneas e leguminosas forrageiras**. 2000. 41 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

MONESMITH, F.L. Mercado de fertilizantes nitrogenados: tendências internacionais e nacionais. In: WORKSHOP SOBRE MANEJO DE FERTILIZANTES NITROGENADOS E SULFATADOS NA AGRICULTURA, 2001, Piracicaba: ESALQ. 2001.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2002. 626 p.

McINNES, K.J.; FERGUSON, R.B.; KISSEL, D.E.; KANEMASU, E.T. Ammonia loss from applications of urea-ammonium nitrate solution to straw residue. **Soil Science American Journal**, Madison, v. 50, p. 969-974, 1986.

McCARTY, G.W. & Bremner, J.M. Production of urease by microbial activity in soils under aerobic and anaerobic conditions. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 11, p. 228-230, 1991.

MYERS, M.G.; McGARITY, J.W. The urease activity in profiles of five great soil groups from northern new south wales. **Plant and Soil**, The Hague, v. 28, p. 25-37, 1968.

MYERS, R.J.K.; PALM, C.A.; CUEVAS, E.; GUNATILLEKE, I.U.N.; BROSSARD, M. The synchronizations of descobertotrient mineralization and plant descobertotrient demand. In: WOOMER, P.L.; SWIFT, M.J. (Ed.). **The biological management of tropical soil fertility**. New York: Wiley-Science, 1994. p. 81-112.

NELSON, D.W. Gaseous losses of nitrogen other than through denitrification. In: STEVENSON, F.J., ed. Nitrogen in agricultural soils. Wisconsin, **American Society of Agronomy**, 1982. p. 327-363.

NÖMMIK, H.; NILSON, K. O. Nitrification and movement of anhydrous ammonia in soil. *Acta Agr. Scand*, v. 13, p. 205-219, 1963.

OVERREIN, L.N.; MOE, P.G. Factors affecting urea hydrolysis and ammonia volatilization in soil. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 31, p. 57-61, 1967.

PARR, J.F.; PAPENDICK, R.I. Retention of anhydrous ammonia by soil: II. Effect of ammonia concentration and soil moisture. **Soil Science**, New Brunswick, v. 101, p. 109-119, 1966.

PANCHOLY, S.K.; RICE, E.L. Effect of storage conditions on actives of urease, invertase, amylase and dehydrogenase in soil. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 36, p. 536-537, 1972.

RAIJ, B.van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: POTAFOS, 1991. 343 p.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise Química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2001. 284 p.

REYNOLDS, C.M.; WOLF, D.C.; ARMBRUSTER, J.A. Factors related to urea hydrolysis in soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 49, p. 104-108, 1987.

RIBEIRO, A.C. Como evitar a perda do nitrogênio de adubo por volatilização. **Boletim Informativo da SBCS**, Campinas, v. 21, n. 2, p. 43-46, 1996.

ROTINI, O.T. La transformazioni enzimatica dell-urea nell terreno. **Ann. Labor. Ric. Ferm**, v. 3, p. 134-154, 1935.

RODRIGUES, M.B. **Volatilização, distribuição e nitrificação da amônia proveniente da uréia aplicada em amostras de solo**. 1983. 84 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1983.

RODRIGUES, M.B.; KIEHL, J.C. Volatilização de amônia após emprego de uréia em diferentes doses e modos de aplicação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 10, p. 37-43, 1986.

SANTOS, A.R.; VALE, F.R.; SANTOS, J.A.G. Avaliação de parâmetros cinéticos da hidrólise da uréia em solos do sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 15, p. 309-313, 1991.

SÁ, J.C.M. **Manejo do nitrogênio na cultura do milho no sistema de plantio direto**. Passo Fundo: Aldeia Norte Editora, 1996. 23 p.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT**: user's guide, version 8.0. Cary, 2000.

SANGOI, L.; ERNANI, P.R.; LECH, V.A. Volatilização de N-NH₃ em decorrência da forma de aplicação de uréia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 4, p.687-692, jul./ago. 2003.

SAVANT, N.K.; JAMES, A.F.; MCCLELEAN, G.H. Effect of amounts and sequence of additions of urea and water on hydrolysis of surface-applied granular urea in unsaturated soils. **Fertilizer Research**, The Hague, v. 11, p. 231-234, 1987.

SENGIK, E.; KIEHL J.C. Efeito de resíduos orgânicos e do fosfato monocálcico na volatilização de amônia em terra tratada com uréia. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 19, p. 321-326, 1995.

SILVA, A.J. da; LIMA JÚNIOR, M.A.FERREIRA N.CM.; FRAGA V. da S. Perdas de amônia por volatilização proveniente da uréia aplicada a solos dos trópicos úmidos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, p. 141-144, 1995.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. Adubação com nitrogênio. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2.ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. p. 129-144.

SCHARF, P.C.; ALLEY, M.M. Nitrogen loss pathways and nitrogen loss inhibitors: a review. **Journal of Fertilizer Issues**, v. 5, n. 4, p. 141-144, 1988.

SCIVITTARO, W.B.; MURAOKA, T.; BOARETTO, A.E.; TRIVELIN, P.C.O. Transformações do nitrogênio proveniente de mucuna-preta e uréia utilizada como adubo na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, p. 1427-1433, 2003.

SPOLIDORIO, E.S.; BOARETTO, A.E.; BOARETTO, R.M.; TRIVELIN, P.C.O. Perdas de N-NH₃ por volatilização da uréia aplicada no solo na cultura do trigo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Anais ...** Rio de Janeiro: SBCS, 1997. 1 CD-ROM.

STEVENSON, F.J. **Cycles of soil carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients.** Wiley-Interscience, 1986. 380 p.

TABATABAI, M.A.; BREMNER, J.M. Assay of urease activity in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 5, p. 479-487, 1972.

TERMAN, G.L. Volatilization of nitrogen as ammonia from surface applied fertilizers, organic amendments, and crop residues. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 31, p. 189-223, 1979.

TRIVELIN, P.C.O.; LARA CABEZAS, W.A.R.; BOARETTO, A.E. Dinâmica do nitrogênio de fertilizantes fluidos no sistema solo-planta. In: VITTI, G.C.; BOARETTO, A.E. (Coord.). **Fertilizantes fluidos**. Piracicaba: POTAFÓS, 1994. p. 314-330.

TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, M.W.; VITTI, A.C. ; GAVA, G.J.C. ; BENDASSOLLI, J.A. Perdas do nitrogênio da uréia no sistema solo-planta em dois ciclos de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 2, p. 193-201, 2002.

VARSA, E.C.; EBELHAR, S.A.; WYCISKALLA T.D.; HART C.D. Nitrogen placement in no-till corn. In: NORTH CENTRAL EXTENSION-INDUSTRY SOIL FERTILITY CONFERENCE, 1995, St. Louis. **Proceedings ...** St. Louis: Potash & Phosphate Institute, 1995. p. 69-74.

VOLK, M.G. Volatile loss of ammonia following surface application of urea to turf of bare soils, **Agronomy Journal**, Madison, v. 51, p. 746-749, 1959.

VLEK, P.L.G.; CRASWELL, E.T. Ammonia volatilizations from flooded soils. **Fertilizer Research**, The Hague, v. 2, p. 227-245, 1981.

VLEK, P.L.G.; STUMPE, J.M. Effects of solution chemistry and environmental conditions on ammonia volatilization losses from aqueous systems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 42, p. 416-421, 1978.

WAHHAB, A.; RANDHAWA, M.S.; ALAM, S.Q. Loss of ammonia from ammonium sulphate under different conditions when applied to soils. **Soil Science**. Baltimore, v. 84, p. 249-255, 1957.

WAHHAB, A.; KHAN, M.; ISHAQ, M. Nitrification of urea and its loss through volatilization of ammonia under different soil conditions. **Journal of Agricultural Sciences**, Cambridge, v. 55, p. 47-51, 1960.

WHITEHEAD, D.C.; RAISTRICK, N. Effects of some environmental factors on ammonia volatilization from simulated livestock urine applied to soil. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 11, p. 279-284, 1991.

ZANTUA, M.I.; BREMNER, J.M. Production and persistence of urease activity in soils **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 8, p. 369-374, 1976.

_____. Stability of urease in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 9, p. 135-140, 1977.

ZANTUA, M.I.; DUMENIL, L.C.; BREMNER, J.M. Relationships between soil, urease activity and other soil properties. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 41, p. 350-352, 1977.

APÊNDICE

Tabela 5 – Análise de variância das perdas totais de amônia por volatilização

Fontes de Variação	G.L	S.Q	QM	F	Pr > F
Cobertura (C)	3	0,44957596	0,14985865	98,51 **	< . 0001
Dose de N (D)	3	1,09403207	0,36467736	239,72 **	< . 0001
C x D	9	0,17684876	0,010964986	12,92 **	< . 0001
Resíduo	32	0,04868053	0,00152127		
TOTAL	47	1,76913731			

Coeficiente de variação: 6,1%

Tabela 6 – Análise de variância dos valores de pH da camada superficial (0,0–0,5 cm) de amostra de um Nitossolo Vermelho Eutroférico , avaliadas no final do experimento

Fontes de Variação	G.L	S.Q	QM	F	Pr > F
Cobertura (C)	3	0,31405	0,10468333	1,57 ^{NS}	0,2149
Dose de N (D)	3	1,12225	0,37408333	5,62 **	0,0033
C x D	9	1,9055	0,21172222	3,18 **	0,0074
Resíduo	32	2,12866667	0,06652083		
TOTAL	47	5,47046667			

Coeficiente de variação: 3,8%

Tabela 7 – Perdas diárias de amônia por volatilização em Nitossolo Vermelho Eutroférico, após adição de diferentes doses de N-uréia mg dm^{-3} associada ao solo sem cobertura

(continua)

Controle				60				120				180				
mg dm ⁻³																
Dias	1	2	3	Média	1	2	3	Média	1	2	3	Média	1	2	3	Média
mg de N-NH ₃ /dia																
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	5,38	6,83	4,37	5,53	5,82	1,61	1,62	3,02	6,12	9,06	8,46	7,88	5,48	8,34	1,13	4,98
3	0,36	0,22	0,41	0,33	0,54	0,56	0,56	0,55	0,36	0,38	0,39	0,37	0,70	0,45	0,37	0,51
3	0,34	0,13	0,04	0,17	0,45	0,43	0,42	0,43	0,37	0,35	0,37	0,36	0,19	0,17	0,20	0,18
5	0,81	0,78	0,80	0,80	0,56	0,56	0,59	0,57	0,36	0,37	0,38	0,37	0,58	0,54	0,56	0,56
4	0,81	0,80	0,81	0,81	0,55	0,53	0,56	0,55	0,49	0,48	0,49	0,49	0,58	0,56	0,53	0,56
7	0,86	0,84	0,82	0,84	0,78	0,76	0,76	0,76	0,55	0,54	0,52	0,53	0,50	0,51	0,50	0,50
8	0,62	0,34	0,14	0,37	0,69	0,85	0,63	0,72	0,81	1,10	0,85	0,92	0,76	0,47	0,52	0,58
9	0,30	0,17	0,28	0,25	1,68	1,62	1,68	1,66	4,60	4,60	4,48	4,56	4,70	4,72	4,78	4,73
10	0,12	0,17	0,18	0,16	1,89	1,84	1,85	1,86	1,94	1,95	5,32	3,07	1,98	2,18	2,16	2,10
11	0,36	0,21	0,35	0,30	2,35	1,82	1,80	1,99	5,46	4,53	4,56	4,85	4,55	4,47	4,44	4,49
12	0,48	0,84	0,32	0,55	1,69	1,21	1,71	1,54	3,73	3,99	4,21	3,98	4,28	4,30	4,31	4,30
13	0,05	0,01	1,35	0,47	1,64	1,02	0,82	1,16	3,84	4,02	3,31	3,72	3,59	6,41	4,42	4,81
14	1,07	1,32	1,52	1,30	1,09	1,53	6,94	3,18	3,88	3,61	4,80	4,10	3,53	3,98	5,52	4,34
15	0,02	0,04	0,06	0,04	0,26	0,27	0,69	0,41	1,81	1,83	1,83	1,82	0,98	0,97	1,32	1,09

Tabela 7 – Perdas diárias de amônia por volatilização em Nitossolo Vermelho Eutroférico, após adição de diferentes doses de N-uréia mg dm^{-3} associada ao solo sem cobertura

(continua)

Controle				60				120				180				
mg dm ⁻³																
Dias	1	2	3	Média	1	2	3	Média	1	2	3	Média	1	2	3	Média
mg de N-NH ₃ /dia																
16	0,04	0,06	0,06	0,05	0,22	0,18	0,82	0,41	1,47	1,53	1,51	1,50	0,67	0,66	0,64	0,66
17	0,11	0,03	0,01	0,05	1,26	0,26	3,14	1,56	1,95	1,90	1,91	1,92	2,01	1,99	2,03	2,01
18	0,07	0,08	0,04	0,06	0,85	0,57	0,55	0,66	1,21	1,18	1,56	1,32	1,73	1,76	1,73	1,74
19	0,24	0,23	0,55	0,34	1,01	0,78	0,76	0,85	1,53	1,14	1,49	1,38	2,79	2,78	2,76	2,78
20	0,14	0,13	0,02	0,09	0,52	0,52	0,51	0,52	1,25	1,23	1,61	1,36	1,90	1,89	1,88	1,89
21	0,07	0,08	0,05	0,06	0,61	0,61	4,25	1,82	0,69	0,70	1,38	0,92	2,09	2,04	2,07	2,06
22	0,04	0,03	0,01	0,03	0,23	0,24	0,25	0,24	0,64	0,66	0,86	0,72	1,62	1,60	1,60	1,61
23	0,49	0,50	0,52	0,50	0,71	0,66	0,69	0,69	1,30	1,28	1,27	1,28	1,57	1,55	4,30	2,48
24	0,17	0,18	0,19	0,18	1,07	1,10	1,11	1,09	1,24	1,24	1,26	1,25	1,28	1,31	1,33	1,30
25	0,02	0,03	0,03	0,02	0,06	0,06	0,07	0,06	0,10	0,09	0,11	0,10	0,30	0,31	0,60	0,40
26	0,03	0,03	0,02	0,02	0,06	0,07	0,09	0,07	0,56	0,54	0,54	0,55	0,58	0,59	0,56	0,58
27	0,00	0,02	0,01	0,01	0,06	0,05	1,41	0,50	0,07	0,09	0,10	0,09	0,30	0,29	0,29	0,29
28	0,01	0,02	0,01	0,01	0,24	0,26	0,29	0,26	0,57	0,58	0,54	0,56	0,72	0,71	0,70	0,71
29	0,20	0,22	0,18	0,20	0,71	0,51	0,48	0,57	0,75	0,79	0,76	0,77	0,73	0,72	0,71	0,72
30	0,05	0,09	0,08	0,07	0,34	0,36	0,29	0,33	0,62	0,61	0,60	0,61	0,69	0,68	0,67	0,68

Tabela 7 – Perdas diárias de amônia por volatilização em Nitossolo Vermelho Eutroférico, após adição de diferentes doses de N-uréia mg dm^{-3} associada ao solo sem cobertura

(conclusão)																
Controle					60				120				180			
----- mg dm ⁻³ -----																
Dias	1	2	3	Média	1	2	3	Média	1	2	3	Média	1	2	3	Média
----- mg de N-NH ₃ /dia -----																
31	0,02	0,02	0,01	0,02	0,07	0,08	0,05	0,06	0,52	0,47	0,48	0,49	0,68	0,67	0,63	0,66
32	0,04	0,07	0,11	0,07	0,45	0,21	0,19	0,28	0,51	0,47	0,63	0,54	0,57	0,60	0,59	0,59
33	0,01	0,01	0,01	0,01	0,40	0,05	0,07	0,17	0,52	0,46	0,59	0,52	0,57	0,58	0,54	0,56
34	0,07	0,06	0,04	0,05	0,24	0,13	0,13	0,16	0,68	0,54	0,57	0,59	0,93	0,46	0,57	0,66
35	0,10	0,00	0,00	0,03	0,39	0,03	0,36	0,26	0,42	0,50	0,54	0,49	0,90	0,43	0,50	0,61
36	0,30	0,26	0,27	0,28	0,44	0,38	0,36	0,39	0,55	0,50	0,56	0,54	0,87	0,43	0,46	0,59
37	0,09	0,01	0,19	0,10	0,29	0,39	0,31	0,33	0,45	0,59	0,56	0,53	0,81	0,50	0,47	0,60
38	0,16	0,10	0,08	0,11	0,18	0,38	0,13	0,23	0,19	0,34	0,34	0,29	0,56	0,51	0,50	0,52
39	0,15	0,10	0,09	0,11	0,18	0,15	0,15	0,16	0,19	0,35	0,33	0,29	0,54	0,48	0,45	0,49
40	0,11	0,06	0,01	0,06	0,22	0,07	0,10	0,13	0,22	0,13	0,27	0,21	0,50	0,43	0,41	0,45
Total	14,30	15,09	14,02		30,78	22,66	37,18		52,50	54,71	60,29		58,32	62,01	57,74	

Tabela 8 – Perdas diárias de amônia por volatilização em Nitossolo Vermelho Eutroférico, após adição de diferentes doses de N-uréia mg dm^{-3} associada ao resíduo cultural de milho como cobertura do solo

(continua)

Controle				60				120				180				
mg dm ⁻³																
Dias	1	2	3	Média	1	2	3	Média	1	2	3	Média	1	2	3	Média
mg de N-NH ₃ /dia																
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	4,36	1,25	3,98	3,20	0,00	0,50	0,48	0,33	0,48	0,38	0,19	0,35	0,22	0,76	0,11	0,36
3	0,17	0,24	0,21	0,21	0,28	0,39	0,96	0,54	0,26	0,24	0,30	0,27	0,28	0,28	0,28	0,28
4	0,18	0,19	0,14	0,17	0,19	0,25	0,23	0,22	0,45	0,43	0,41	0,43	0,37	0,38	0,38	0,37
5	0,52	0,53	0,55	0,53	0,50	0,51	0,48	0,50	0,47	0,48	0,51	0,49	0,45	0,43	0,46	0,45
6	0,55	0,57	0,56	0,56	0,52	0,50	0,48	0,50	0,36	0,35	0,38	0,36	0,49	0,48	0,51	0,49
7	0,82	0,83	0,85	0,83	0,59	0,56	0,55	0,57	0,48	0,51	0,49	0,49	0,50	0,52	0,51	0,51
8	0,64	0,54	0,49	0,56	0,72	0,86	0,94	0,84	0,97	0,98	0,97	0,98	0,50	0,52	0,54	0,52
9	0,64	0,91	0,62	0,72	2,13	2,12	2,31	2,19	3,07	2,80	3,11	2,99	3,58	3,64	3,60	3,61
10	0,58	0,20	0,97	0,58	3,19	1,92	1,90	2,34	3,19	3,21	3,22	3,21	4,20	4,20	4,21	4,20
11	0,35	0,83	0,89	0,69	2,56	2,30	1,09	1,98	2,01	1,98	4,31	2,76	2,26	2,23	2,19	2,23
12	0,78	0,82	0,83	0,81	1,67	1,52	0,91	1,37	2,06	2,43	3,23	2,57	3,60	4,88	4,82	4,43
13	0,43	0,59	0,80	0,61	1,77	1,55	0,82	1,38	1,55	2,51	2,82	2,29	3,30	3,60	5,66	4,18
14	0,53	1,50	2,40	1,48	2,24	2,39	1,89	2,17	2,76	3,87	3,30	3,31	5,15	4,40	5,71	5,09

Tabela 8 – Perdas diárias de amônia por volatilização em Nitossolo Vermelho Eutroférico, após adição de diferentes doses de N-uréia mg dm^{-3} associada ao resíduo cultural de milho como cobertura do solo

(continua)

Controle				60				120				180				
----- mg dm ⁻³ -----																
Dias	1	2	3	Média	1	2	3	Média	1	2	3	Média	1	2	3	Média
----- mg de N-NH ₃ /dia -----																
15	0,04	0,06	0,86	0,32	1,14	1,17	1,47	1,26	0,95	1,01	1,97	1,31	1,12	1,08	1,10	1,10
16	0,32	0,29	0,27	0,30	0,20	0,24	0,53	0,32	1,58	1,55	1,59	1,57	1,49	1,47	1,48	1,48
17	0,22	0,19	0,62	0,34	1,64	1,07	1,05	1,25	1,92	1,96	1,93	1,94	1,94	1,95	1,94	1,94
18	0,03	0,16	0,15	0,11	1,00	0,88	2,84	1,57	0,43	0,83	0,78	0,68	1,00	1,83	0,99	1,27
19	0,11	0,10	0,12	0,11	1,03	1,00	0,98	1,00	1,65	1,63	0,47	1,25	1,78	1,14	1,79	1,57
20	0,19	0,19	0,20	0,19	1,24	1,22	1,22	1,23	0,41	0,42	0,43	0,42	2,51	2,51	2,50	2,51
21	0,28	0,27	0,27	0,27	0,63	0,62	0,63	0,63	0,79	0,80	0,93	0,84	2,51	2,53	2,54	2,53
22	0,21	0,24	0,24	0,23	1,20	1,24	1,23	1,22	0,49	1,26	0,49	0,75	3,37	3,30	3,28	3,32
23	0,20	0,21	0,69	0,37	0,67	0,69	0,65	0,67	1,55	1,56	1,54	1,55	2,21	2,20	2,23	2,21
24	0,24	0,25	0,41	0,30	1,45	1,42	1,19	1,35	1,47	1,48	1,22	1,39	2,34	2,35	2,37	2,35
25	0,05	0,45	0,46	0,32	0,37	0,35	0,34	0,35	0,57	0,62	0,60	0,60	0,65	0,63	0,65	0,64
26	0,00	0,06	0,06	0,04	0,16	0,18	0,20	0,18	0,67	0,68	0,69	0,68	0,85	0,84	0,82	0,84
27	0,01	0,02	0,01	0,01	0,17	0,16	0,18	0,17	0,65	0,63	0,69	0,66	0,95	0,94	0,91	0,93
28	0,05	0,03	0,05	0,04	0,13	0,18	0,14	0,15	0,59	0,61	0,58	0,59	0,77	0,76	0,75	0,76

Tabela 8 – Perdas diárias de amônia por volatilização em Nitossolo Vermelho Eutroférico, após adição de diferentes doses de N-uréia mg dm^{-3} associada ao resíduo cultural de milho como cobertura do solo

(conclusão)

Controle				60				120				180				
----- mg dm ⁻³ -----																
Dias	1	2	3	Média	1	2	3	Média	1	2	3	Média	1	2	3	Média
----- mg de N-NH ₃ /dia -----																
29	0,09	0,07	0,06	0,07	0,47	0,45	0,43	0,45	0,61	0,62	0,62	0,61	1,01	0,98	0,99	0,99
30	0,06	0,08	0,31	0,15	0,20	0,19	0,20	0,20	0,59	0,60	0,65	0,61	0,94	0,10	0,92	0,65
31	0,02	0,01	0,01	0,01	0,19	0,08	0,09	0,12	0,53	0,55	0,50	0,53	0,94	0,92	0,98	0,95
32	0,05	0,04	0,35	0,14	0,18	0,19	0,22	0,19	0,51	0,43	0,47	0,47	0,96	0,92	0,94	0,94
33	0,05	0,02	0,46	0,18	0,12	0,77	0,10	0,33	0,43	0,40	0,33	0,39	1,33	0,87	0,80	1,00
34	0,03	0,01	0,29	0,11	1,08	0,41	0,03	0,50	0,49	1,13	0,21	0,61	0,99	0,95	1,25	1,06
35	0,00	0,06	0,42	0,16	0,28	0,89	0,22	0,46	0,56	1,04	0,56	0,72	1,19	1,40	1,17	1,25
36	0,39	0,20	0,42	0,34	0,53	0,45	0,03	0,34	0,63	0,59	0,67	0,63	1,06	1,01	0,96	1,01
37	0,07	0,07	0,15	0,10	0,52	0,36	0,29	0,39	0,54	0,45	0,56	0,52	0,98	0,98	0,91	0,96
38	0,03	0,22	0,11	0,12	0,33	0,41	0,31	0,35	0,45	0,39	0,25	0,36	0,45	0,39	0,48	0,44
39	0,03	0,20	0,09	0,11	0,04	0,36	0,35	0,25	0,43	0,37	0,29	0,36	0,45	0,44	0,47	0,45
40	0,13	0,11	0,06	0,10	0,04	0,04	0,24	0,11	0,36	0,30	0,41	0,36	0,39	0,39	0,42	0,40
Total	13,42	12,62	20,39		31,35	30,38	28,17		37,93	42,09	42,67		59,04	59,20	62,57	

Tabela 9– Perdas diárias de amônia por volatilização em Nitossolo Vermelho Eutroférico, após adição de diferentes doses de N-uréia mg dm^{-3} associada ao resíduo cultural de cana-de-açúcar como cobertura do solo

(continua)

Controle				60				120				180				
----- mg dm ⁻³ -----																
Dias	1	2	3	Média	1	2	3	Média	1	2	3	Média	1	2	3	Média
----- mg de N-NH ₃ /dia -----																
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	1,05	0,45	1,08	0,86	0,62	0,00	0,09	0,24	0,00	0,00	0,86	0,29	2,18	0,99	0,13	1,10
3	0,27	0,25	0,22	0,24	0,49	0,48	0,40	0,46	0,14	0,13	0,15	0,14	0,02	1,43	0,50	0,65
4	0,11	0,12	0,13	0,12	0,22	0,23	0,26	0,24	0,29	0,30	0,32	0,30	0,45	0,47	0,46	0,46
5	1,43	0,53	0,50	0,82	0,56	0,54	0,50	0,53	0,71	0,73	0,71	0,72	0,58	0,57	0,59	0,58
6	0,56	0,55	0,57	0,56	0,52	0,54	0,53	0,53	0,30	0,56	0,55	0,47	0,57	0,58	0,57	0,57
7	0,85	0,83	0,82	0,83	0,66	0,64	0,63	0,64	0,60	0,56	0,57	0,58	0,57	0,55	0,59	0,57
8	0,71	0,54	0,73	0,66	0,62	0,74	0,69	0,69	0,92	0,95	0,76	0,88	0,52	0,53	0,50	0,52
9	0,64	0,65	0,62	0,64	0,75	0,75	0,73	0,74	1,87	1,96	1,88	1,90	5,54	5,52	5,82	5,63
10	0,45	0,45	0,80	0,57	0,64	0,62	0,57	0,61	1,10	1,06	1,46	1,21	4,38	4,40	4,70	4,49
11	0,41	0,44	0,32	0,39	0,62	0,61	0,80	0,68	0,92	1,50	0,56	0,99	3,72	5,17	3,53	4,14
12	0,42	0,31	0,43	0,39	0,66	0,76	0,90	0,77	0,75	0,84	0,71	0,77	1,09	1,12	1,18	1,13
13	0,06	0,01	0,36	0,15	0,13	0,23	0,74	0,37	0,06	1,35	1,39	0,93	3,32	2,74	2,06	2,70
14	1,15	0,94	0,60	0,90	0,76	1,32	0,71	0,93	1,20	1,82	1,41	1,48	3,48	4,80	2,63	3,63
15	0,26	0,24	0,27	0,26	0,43	0,41	0,22	0,36	0,36	0,39	0,22	0,32	0,92	0,93	0,87	0,90

Tabela 9– Perdas diárias de amônia por volatilização em Nitossolo Vermelho Eutroférico, após adição de diferentes doses de N-uréia mg dm^{-3} associada ao resíduo cultural de cana-de-açúcar como cobertura do solo

(continua)

Controle				60				120				180				
mg dm ⁻³																
Dias	1	2	3	Média	1	2	3	Média	1	2	3	Média	1	2	3	Média
mg de N-NH ₃ /dia																
16	0,10	0,04	0,06	0,07	0,33	0,34	0,32	0,33	0,08	0,04	0,07	0,06	0,37	0,35	0,38	0,37
17	0,25	0,27	0,28	0,27	0,13	0,18	0,16	0,16	0,32	0,35	0,34	0,34	1,01	0,20	0,22	0,48
18	0,19	0,24	0,17	0,20	0,17	0,17	0,39	0,24	0,29	0,30	0,16	0,25	0,76	2,84	0,68	1,43
19	0,02	0,05	0,02	0,03	0,41	0,41	0,45	0,43	0,52	0,50	0,47	0,50	0,67	2,43	0,65	1,25
20	0,10	0,12	0,10	0,10	0,41	0,41	0,63	0,48	1,35	1,33	1,30	1,33	1,50	2,05	1,52	1,69
21	0,41	0,38	0,39	0,40	0,68	0,66	0,23	0,52	0,16	0,19	0,19	0,18	1,55	1,56	1,57	1,56
22	0,14	0,13	0,17	0,14	0,16	0,15	0,18	0,16	0,15	0,31	0,17	0,21	0,99	0,85	0,96	0,94
23	0,36	0,34	0,39	0,36	0,49	0,48	0,46	0,48	0,87	0,24	0,22	0,44	0,64	0,66	0,66	0,65
24	0,29	0,28	0,26	0,28	0,08	0,10	0,13	0,10	0,10	0,29	0,07	0,15	0,57	0,55	0,54	0,56
25	0,00	0,02	0,02	0,01	0,03	0,04	0,05	0,04	0,07	0,12	0,08	0,09	0,56	0,51	0,53	0,53
26	0,01	0,00	0,02	0,01	0,23	0,20	0,20	0,21	0,06	0,21	0,21	0,16	0,55	0,54	0,53	0,54
27	0,00	0,01	0,03	0,02	0,05	0,05	0,06	0,05	0,22	0,19	0,17	0,20	0,57	0,51	0,53	0,54
28	0,03	0,01	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,06	0,04	0,40	0,40	0,37	0,39
29	0,03	0,02	0,03	0,03	0,32	0,29	0,33	0,31	0,34	0,31	0,29	0,31	0,65	0,68	0,66	0,66

Tabela 9– Perdas diárias de amônia por volatilização em Nitossolo Vermelho Eutroférico, após adição de diferentes doses de N-uréia mg dm^{-3} associada ao resíduo cultural de cana-de-açúcar como cobertura do solo

(conclusão)

Controle				60				120				180				
----- mg dm ⁻³ -----								-----								
Dias	1	2	3	Média	1	2	3	Média	1	2	3	Média	1	2	3	Média
----- mg de N-NH ₃ /dia -----																
30	0,01	0,01	0,03	0,02	0,51	0,57	0,47	0,51	0,44	0,45	0,26	0,38	0,75	0,73	0,87	0,79
31	0,01	0,02	0,02	0,02	0,21	0,20	0,21	0,20	0,25	0,26	0,31	0,27	0,73	0,74	0,73	0,73
32	0,05	0,05	0,04	0,05	0,22	0,19	0,18	0,20	0,29	0,16	0,26	0,24	0,75	0,64	0,73	0,71
33	0,02	0,01	0,01	0,01	0,22	0,21	0,20	0,21	0,15	0,44	0,01	0,20	1,18	0,73	0,64	0,85
34	0,01	0,03	0,01	0,02	0,14	0,24	0,22	0,20	0,02	0,40	0,04	0,15	0,74	1,10	1,13	0,99
35	0,08	0,03	0,00	0,04	0,08	0,08	0,17	0,11	0,04	0,61	0,01	0,22	1,03	1,06	0,86	0,98
36	0,08	0,63	0,62	0,44	0,48	0,63	0,62	0,57	0,33	0,59	0,53	0,48	0,90	0,92	0,94	0,92
37	0,26	0,01	0,44	0,24	0,14	0,26	0,11	0,17	0,72	0,73	0,33	0,59	0,80	0,84	0,78	0,81
38	0,18	0,39	0,20	0,26	0,33	0,39	0,31	0,34	0,36	0,31	0,30	0,32	0,31	0,34	0,41	0,35
39	0,17	0,36	0,17	0,23	0,03	0,53	0,50	0,36	0,29	0,03	0,32	0,21	0,31	0,33	0,40	0,35
40	0,15	0,34	0,38	0,29	0,01	0,49	0,29	0,26	0,03	0,02	0,30	0,12	0,30	0,39	0,37	0,35
Total	11,31	12,10	11,35		13,57	15,15	14,61		16,70	20,56	18,03		45,91	51,75	41,77	

Tabela 10– Perdas diárias de amônia por volatilização em Nitossolo Vermelho Eutroférico, após adição de diferentes doses de N-uréia mg dm^{-3} associada ao resíduo cultural de amendoim forrageiro como cobertura do solo

(continua)

Controle				60				120				180				
----- mg dm ⁻³ -----																
Dias	1	2	3	Média	1	2	3	Média	1	2	3	Média	1	2	3	Média
----- mg de N-NH ₃ /dia -----																
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	1,18	0,77	1,04	1,00	0,36	0,49	0,36	0,41	2,35	2,60	2,58	2,51	1,61	1,05	0,05	0,91
3	0,19	0,22	0,18	0,20	0,21	0,14	0,17	0,17	1,43	0,39	0,39	0,74	1,43	0,53	1,94	1,30
4	0,17	0,14	0,17	0,16	1,35	0,84	0,71	0,97	0,29	0,31	0,32	0,31	0,31	0,28	0,31	0,30
5	0,55	0,53	0,54	0,54	0,52	0,53	0,52	0,52	0,47	0,48	0,49	0,48	0,81	0,80	0,78	0,80
6	0,80	0,81	0,79	0,80	0,55	0,55	0,53	0,54	0,59	0,58	0,61	0,59	0,61	0,58	0,56	0,58
7	0,85	0,83	0,86	0,85	0,59	0,62	0,59	0,60	0,59	0,55	0,56	0,57	0,53	0,55	0,54	0,54
8	0,73	0,71	0,59	0,68	0,69	0,66	0,84	0,73	0,94	0,95	0,93	0,94	0,95	0,81	0,80	0,85
9	0,38	0,34	0,40	0,37	2,74	2,72	2,71	2,73	3,79	3,84	3,74	3,79	4,42	4,43	4,40	4,41
10	0,06	1,30	1,29	0,88	1,34	1,36	1,31	1,34	2,09	2,10	2,30	2,16	2,44	2,24	2,43	2,37
11	0,20	2,72	0,91	1,28	1,90	5,08	1,88	2,95	1,97	2,26	4,05	2,76	3,52	6,99	3,51	4,67
12	0,00	2,99	1,49	1,49	1,02	1,04	4,58	2,21	3,98	3,35	2,09	3,14	4,21	4,23	4,18	4,21
13	0,27	2,68	1,11	1,35	0,97	2,81	2,90	2,23	2,46	1,95	2,32	2,24	2,59	1,93	2,01	2,18
14	1,33	2,62	2,30	2,08	2,57	5,12	5,14	4,28	3,97	2,70	3,00	3,22	5,28	1,83	1,57	2,89
15	0,08	0,10	0,06	0,08	1,23	1,17	1,24	1,21	1,38	1,36	1,34	1,36	1,36	1,05	1,08	1,17

Tabela 10– Perdas diárias de amônia por volatilização em Nitossolo Vermelho Eutroférico, após adição de diferentes doses de N-uréia mg dm^{-3} associada ao resíduo cultural de amendoim forrageiro como cobertura do solo

(continua)

Controle				60				120				180				
								mg dm ⁻³								
Dias	1	2	3	Média	1	2	3	Média	1	2	3	Média	1	2	3	Média
								mg de N-NH ₃ /dia								
16	0,72	0,71	0,71	0,71	0,42	0,44	0,46	0,44	0,78	0,77	1,12	0,89	0,62	0,61	0,60	0,61
17	0,92	1,77	1,76	1,48	1,82	1,81	1,83	1,82	1,15	1,16	1,14	1,15	1,19	1,20	1,21	1,20
18	0,97	0,95	1,05	0,99	1,55	1,55	1,59	1,57	1,25	1,26	1,27	1,26	1,22	1,29	1,30	1,27
19	1,49	1,49	1,45	1,48	1,94	1,95	2,13	2,01	1,18	1,17	0,88	1,07	2,07	2,06	2,08	2,07
20	1,39	1,34	1,41	1,38	1,68	1,66	1,66	1,66	2,01	1,97	2,00	1,99	1,73	1,73	1,72	1,72
21	2,09	2,10	2,09	2,10	2,06	2,03	2,05	2,05	2,29	2,25	2,24	2,26	2,15	2,14	2,17	2,15
22	2,12	2,14	2,13	2,13	2,79	2,78	1,66	2,41	2,90	2,88	2,89	2,89	2,92	2,91	2,94	2,92
23	1,48	1,47	1,46	1,47	2,16	2,11	2,18	2,15	2,06	2,07	2,02	2,05	2,54	2,52	2,50	2,52
24	1,58	1,59	1,61	1,60	2,93	2,84	2,86	2,87	2,83	2,81	2,84	2,83	3,13	3,15	3,12	3,13
25	0,14	0,16	0,14	0,15	0,35	0,37	0,38	0,37	0,65	0,66	0,68	0,66	0,88	0,87	0,84	0,86
26	0,28	0,24	0,29	0,27	0,99	0,75	0,73	0,82	0,87	0,85	0,79	0,84	0,86	0,85	0,79	0,83
27	0,57	0,58	0,59	0,58	0,86	0,87	1,41	1,05	1,41	0,72	0,71	0,95	0,86	1,41	0,89	1,05
28	0,57	0,58	0,52	0,56	0,56	0,58	0,59	0,58	0,59	0,61	0,54	0,58	0,52	0,50	0,51	0,51
29	0,31	0,33	0,39	0,34	0,41	0,45	0,48	0,45	0,73	0,69	0,57	0,66	0,75	0,74	0,76	0,75

Tabela 10– Perdas diárias de amônia por volatilização em Nitossolo Vermelho Eutroférico, após adição de diferentes doses de N-uréia mg dm^{-3} associada ao resíduo cultural de amendoim forrageiro como cobertura do solo

(conclusão)

Controle				60				120				180				
----- mg dm ⁻³ -----								-----								
Dias	1	2	3	Média	1	2	3	Média	1	2	3	Média	1	2	3	Média
----- mg de N-NH ₃ /dia -----																
30	0,57	0,51	0,47	0,51	0,85	0,87	0,89	0,87	0,84	0,87	0,87	0,86	1,00	0,98	1,02	1,00
31	0,52	0,51	0,53	0,52	0,76	0,77	0,86	0,80	0,95	0,96	0,95	0,95	0,99	0,99	1,00	0,99
32	0,34	0,32	0,38	0,34	0,65	0,64	0,64	0,64	0,85	0,86	0,91	0,87	0,57	0,60	0,61	0,59
33	0,48	0,42	0,29	0,40	0,54	0,63	0,63	0,60	0,66	0,31	0,08	0,35	0,57	1,16	0,60	0,78
34	0,66	0,46	0,40	0,51	1,38	0,38	0,37	0,71	0,56	0,15	0,04	0,25	0,99	1,04	1,12	1,05
35	0,20	0,14	0,11	0,15	0,75	0,78	0,82	0,78	0,28	0,14	0,11	0,18	0,95	1,01	0,89	0,95
36	0,17	0,13	0,10	0,13	0,71	0,62	0,59	0,64	0,50	0,49	0,48	0,49	0,84	0,74	0,73	0,77
37	0,50	0,56	0,46	0,51	0,19	0,22	0,28	0,23	0,52	0,54	0,50	0,52	0,76	0,72	0,70	0,73
38	0,22	0,20	0,16	0,19	0,17	0,19	0,22	0,19	0,48	0,43	0,28	0,40	0,44	0,45	0,48	0,46
39	0,01	0,29	0,23	0,18	0,17	0,18	0,21	0,19	0,46	0,42	0,26	0,38	0,45	0,43	0,48	0,45
40	0,05	0,22	0,22	0,16	0,12	0,15	0,14	0,14	0,45	0,39	0,23	0,36	0,43	0,42	0,47	0,44
Total	25,11	37,97	30,67		42,86	48,74	49,14		53,53	48,83	49,12		59,52	57,79	53,68	