UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

Ana Carolina Alves

**Perdas de amônia por volatilização e emissão foliar em
pastagem adubada com fontes de nitrogênio**

Ana Carolina Alves

**Perdas de amônia por volatilização e emissão foliar em
pastagem adubada com fontes de nitrogênio**

Tese apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Doutor em Zootecnia.

Área de Concentração: Qualidade e Produtividade Animal

Orientador: Prof. Dr. Valdo Rodrigues Herling

Co-orientadora: Dr^a. Patrícia Perondi Anção de Oliveira

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Serviço de Biblioteca e Informação da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da
Universidade de São Paulo

A474p Alves, Ana Carolina
Perdas de amônia por volatilização e emissão foliar
em pastagem adubada com fontes de nitrogênio / Ana
Carolina Alves. -- Pirassununga, 2009.
70 f.
Tese (Doutorado) -- Faculdade de Zootecnia e
Engenharia de Alimentos - Universidade de São Paulo.
Departamento de Zootecnia.
Área de Concentração: Qualidade e Produtividade
Animal.
Orientador: Prof. Dr. Valdo Rodrigues Herling.

1. Lâminas de água 2. NH₃ 3. Nitrato de amônio
4. Nitrogênio 5. Uréia 6. Balanço de ¹⁵N. I. Título.

Aos meus pais, João Batista e Zilda,
por todo amor, dedicação e apoio;

Aos meus irmãos, Teresa e João Paulo,
pelo amor, amizade e incentivo

Ao Ramon,
pelo carinho e dedicação

Dedico.

AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, da Universidade de São Paulo, pela formação e oportunidade de realização do curso de Doutorado.

Ao professor Dr. Valdo Rodrigues Herling pela orientação, amizade e ensinamentos, durante todos esses anos, que contribuíram para minha formação profissional e pessoal.

À Dr^a. Patrícia Perondi Anchão Oliveira pela orientação, amizade, atenção, ensinamentos e valorosa contribuição para realização deste trabalho.

Ao professor Dr. Pedro Henrique de Cerqueira Luz, pela amizade, ensinamentos e sugestões dadas no exame de qualificação.

Ao professor Dr. Paulo Cesar Ocheuze Trivelin pelos ensinamentos, esclarecimento de dúvidas, análises e concessão de alguns materiais que possibilitaram que este trabalho fosse realizado.

À Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, por colocar a disposição a área experimental, equipamentos e os Laboratórios de Bromatologia, Hidráulica e Irrigação.

Aos professores Dr. Fernando Braz Hernandez Tangerino, Dr. Olair José Isepon e Dr. Antônio Fernando Bergamaschini pelos ensinamentos e apoio na condução dos experimentos.

Ao professor Dr. Evaristo Bianchini Sobrinho (*in memoriam*) e ao Professor Dr. Walter Veriano Valério Filho pela realização das análises estatísticas e esclarecimentos.

Aos funcionários da FZEA/USP, Marcos Ferraz, Paulo Tonetti, Raphael Corradini Júnior, aos estagiários do Laboratório de Solos e das Agrárias pelo apoio na execução das análises laboratoriais e condução dos experimentos.

Às funcionárias da Seção de Pós Graduação da FZEA, Maria Conceição Roldão e Layla Denófrío, pela amizade e atendimento cordial.

Ao funcionários da FEIS/UNESP, Durvalino Candido de Souza, Ronaldo Cintra Lima e Sidival Antunes de Carvalho pela dedicação e apoio na condução dos experimentos e análises laboratoriais.

À Teresa Cristina Alves, João Paulo Mariano Alves, Ramon Cellin Rochetti, João Batista Alves e Zilda Luiza Mariano Alves, pois além do carinho e constante incentivo compartilharam com companheirismo incansáveis horas de trabalho.

Aos amigos de pós-graduação, Felipe Barros Macedo, Sandra Ribeiro, Letícia Abreu Faria, Wilson Aparecido Marchesin e Rinaldo Rodrigues pela amizade e bons momentos de convivência.

À Zilda Cellin Rochetti, José Lauro Rochetti e a Raquel Cellin Rochetti pelo carinho, apoio e incentivo.

À todos do departamento de Biologia e Zootecnia da FEIS/UNESP e do departamento de Zootecnia da FZEA/USP pela amizade.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de doutorado.

À FAPESP pelo financiamento desse projeto através do auxílio à pesquisa.

À todos que direta e indiretamente contribuíram para a realização desse trabalho.

RESUMO

PERDAS DE AMÔNIA POR VOLATILIZAÇÃO E EMISSÃO FOLIAR EM PASTAGEM ADUBADA COM FONTES DE NITROGÊNIO

Na busca de alternativas para mensurar a emissão foliar de amônia (NH_3) e minimizar as perdas de N-NH_3 em pastagens, foram realizados três trabalhos. Os dois primeiros com objetivo de verificar se o absorvedor com espuma, já utilizado na quantificação da volatilização de N-NH_3 , também é eficiente para mensurar a emissão foliar, sem causar alterações no processo de perda de nitrogênio. O terceiro trabalho, realizado em pastagem de capim Colonião (*Panicum maximum* Jacq. cv. Colonião) no verão, inverno e primavera, avaliou o efeito da aplicação de lâminas de água, após a adubação com uréia, sobre as perdas de N-NH_3 do solo por volatilização e emissão foliar. O absorvedor de amônia com espuma não causa alteração no processo de perda de N-NH_3 e colocado 1 cm acima das folhas superiores, é efetivo em capturar o N-NH_3 perdido por emissão foliar da pastagem, quando se fertiliza em superfície com nitrato de amônio e uréia. A aplicação de água imediatamente após a adubação com uréia é eficiente para reduzir as perdas de N-NH_3 por volatilização. No verão, a aplicação de 3,2 mm de água foi suficiente para reduzir as perdas de N-NH_3 para menos de 3,1 % do N aplicado, enquanto na ausência de irrigação ocorreram perdas de 30,5%. A taxa de volatilização é influenciada pela quantidade de água disponível no solo, sendo baixa quando a uréia é aplicada em solo seco ou quando o solo seca rapidamente, mesmo que a temperatura ambiente seja elevada. A emissão foliar de N-NH_3 não foi influenciada pela aplicação ou não de água, após a adubação com uréia.

Palavras-chave: lâminas de água; nitrato de amônio; NH_3 ; perda de N; uréia

ABSTRACT

AMMONIA LOSS THROUGH VOLATILIZATION AND FOLIAR EMISSION IN PASTURE FERTILIZED WITH NITROGEN SOURCES

In search of alternatives to measure ammonia (NH_3) foliar emission and minimize N-NH_3 losses in pasture three research works were accomplished. The two first works aimed at checking whether or not the foam absorber, which was already used to quantify N-NH_3 volatilization, is also efficient to measure foliar emission without interfering in nitrogen loss process. The third one was performed in *Panicum maximum* Jacq. cv. Colonião pasture during three different seasons and evaluated the use of irrigation levels after urea fertilization on N-NH_3 losses through volatilization and foliar emission. The ammonia foam absorber does not alter N-NH_3 loss process and when placed at height of 1 cm from the upper leaves it is effective in capturing N-NH_3 lost through foliar emission when fertilization is done superficially with ammonium nitrate and urea. Water application immediately after fertilization is efficient to reduce N-NH_3 losses through volatilization. During summer the use of 3.2 mm water was enough to decrease N-NH_3 loss to less than 3.1% of applied N, while the lack of irrigation caused 30.5% losses. Volatilization rate is influenced by the quantity of water available in the soil, being low when urea is applied to dry soil or when the soil dries fast even if the environment temperature is high. N-NH_3 foliar emission was not influenced by water application after urea fertilization.

Key words: ammonium nitrate; irrigation levels; NH_3 ; nitrogen loss; urea

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Ciclo do nitrogênio.....	13
Figura 2.1 – Absorvedor de espuma posicionado 1 cm acima das folhas superiores	27
Figura 2.2 – Absorvedor de espuma disposto sobre o vaso	27
Figura 2.3 – Amostragem das plantas em diferentes estruturas e do solo em diferentes profundidades.....	29
Figura 2.4 – Perdas de nitrogênio na forma de amônia mensurada pelo método do absorvedor de espuma para a uréia e nitrato de amônio	32
Figura 4.1 – Extrato do balanço hídrico mensal em Ilha Solteira – SP em 2008.....	42
Figura 4.2 – Extrato do balanço hídrico em Ilha Solteira – SP , de 15/01/08 a 23/01/08	42
Figura 4.3 – Extrato do balanço hídrico em Ilha Solteira – SP , de 30/06/08 a 08/07/08	43
Figura 4.4 – Extrato do balanço hídrico em Ilha Solteira – SP , de 15/10/08 a 23/10/08	43
Figura 4.5 – Disposição das parcelas e tratamentos experimentais	47
Figura 4.6 – Teste de aspersão para determinar o volume de água aplicado por unidade de tempo em cada parcela experimental.....	48
Figura 4.7 – Área adubada com uréia	50
Figura 4.8 – Irrigação após aplicação da uréia.....	50

Figura 4.9 – Absorvedores de amônia a 1 cm do solo	51
Figura 4.10 – Absorvedores de amônia a 1 cm das folhas superiores do dossel.....	51
Figura 4.11 – Volatilização de N-NH ₃ (kg/ha/dia), quantidade de água disponível no solo (% da CAD), precipitação (mm) e irrigação (mm), no verão	54
Figura 4.12 – Volatilização de N-NH ₃ (kg/ha/dia), quantidade de água disponível no solo (% da CAD), precipitação (mm) e irrigação (mm), no inverno	57
Figura 4.13 – Volatilização de NH ₃ (kg/ha/dia), quantidade de água disponível no solo (% da CAD) e precipitação (mm) e irrigação (mm), na primavera	59
Figura 4.14 – Volatilização de N-NH ₃ (kg/ha/dia) em relação à quantidade de água aplicada no solo após a adubação com uréia, no verão, inverno e primavera.....	61
Figura 4.15 – Quantidade de N-NH ₃ emitida e volatilizada (kg/ha/dia), no verão.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Características químicas da terra usada no enchimento dos vasos.....	25
Tabela 2.2 – Perdas de nitrogênio na forma de amônia mensurada pelo método do absorvedor de espuma e o balanço de ^{15}N	31
Tabela 3.1 – Análise da variância da mensuração de perdas de amônia por volatilização e por emissão foliar pelo método do balanço de ^{15}N na presença ou na ausência de absorvedores de amônia.....	37
Tabela 3.2 – Estimativa de perdas de amônia (mg/vaso) pelo método do balanço de ^{15}N , na presença ou ausência do absorvedor com espuma, em vasos com <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu adubado com uréia ou nitrato de amônio.....	38
Tabela 4.1 – Temperaturas máxima e mínima ($^{\circ}\text{C}$), precipitação (mm), umidade relativa do ar máxima e mínima (%), radiação líquida ($\text{Mj}/\text{m}^2.\text{dia}$), evapotranspiração (ET_0 - mm), velocidade do vento máxima (m/s) e insolação (h/dia) durante os três períodos experimentais.	44
Tabela 4.2 – Análise química do solo.....	45
Tabela 4.3 – Análise física do solo.....	45
Tabela 4.4 – Curva característica de retenção de água no solo e densidade aparente	46
Tabela 4.5 – Lâminas de água e umidade do solo em relação à capacidade de água disponível (CAD) nos três experimentos	47
Tabela 4.6 – Volatilização de N-NH_3 diária ($\text{kg}/\text{ha}/\text{dia}$) e porcentagem de perda de N, em relação às lâminas de água aplicada no solo após a adubação com uréia, no verão	55

Tabela 4.7 – Volatilização de N-NH₃ diária (kg/ha/dia) e acumulada (kg/ha) e porcentagem de perda de N, em relação à quantidade de água aplicada no solo após a adubação com uréia no inverno58

Tabela 4.8 – Volatilização de NH₃ diária (kg/ha/dia) e acumulada (kg/ha) e porcentagem de perda de N, em relação à quantidade de água aplicada após adubação com uréia, na primavera60

Tabela 4.9 – Taxa de volatilização e emissão de N-NH₃ (kg/ha/dia) e volatilização e emissão acumulada (% do N aplicado) em relação à lâmina de água aplicada após adubação com uréia, no verão63

Tabela 4.10 – Taxa de volatilização e emissão de N-NH₃ (kg/ha/dia) e volatilização e emissão acumuladas (% do N aplicado) em relação à lâmina de água aplicada após adubação com uréia, no inverno64

Tabela 4.11 – Taxa de volatilização e emissão de N-NH₃ (kg/ha/dia) e volatilização e emissão acumulada (% do N aplicado) em relação à lâmina de água aplicada após adubação com uréia, na primavera64

SUMÁRIO

1 REVISÃO DA LITERATURA.....	12
1.1 Nitrogênio no sistema solo-planta-atmosfera.....	12
1.2 Perdas de amônia.....	14
1.2.1 Perdas de amônia do solo por volatilização.....	14
1.2.2 Perdas de amônia por emissão foliar	19
1.3 Métodos para determinar a volatilização e emissão foliar de amônia.....	20
 2 MÉTODOS DO ABSORVEDOR COM ESPUMA E BALANÇO DO ¹⁵N PARA QUANTIFICAR A EMISSÃO DE AMÔNIA PELA FOLHAGEM DE <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu	 22
2.1 INTRODUÇÃO.....	24
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	24
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
2.4 CONCLUSÃO	32
 3 DETERMINAÇÃO DAS PERDAS DE AMÔNIA POR VOLATILIZAÇÃO E EMISSÃO FOLIAR PELO MÉTODO DO BALANÇO DE ¹⁵N NA PRESENÇA OU AUSÊNCIA DE ABSORVEDORES DE AMÔNIA.....	 33
3.1 INTRODUÇÃO.....	35
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	35
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
3.4 CONCLUSÃO	38
 4 LÂMINAS DE ÁGUA, ADUBAÇÃO COM URÉIA EM SUPERFÍCIE EM PASTAGEM E A VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA.....	 39
4.1 INTRODUÇÃO.....	41
4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	41
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
4.4 CONCLUSÃO	65
 REFERÊNCIAS.....	 66

1 REVISÃO DA LITERATURA

1.1 Nitrogênio no sistema solo-planta-atmosfera

Apesar de ser o elemento mais abundante na atmosfera, o nitrogênio (N) precisa ser transformado para ser utilizado pelas plantas. Para isso, ele deve ser combinado com o hidrogênio ou o oxigênio num processo chamado de fixação. Esse processo pode ocorrer de diversas formas, como a fixação biológica por bactérias assimbióticas, de vida livre no solo, ou em associações simbióticas com leguminosas; pela oxidação natural, por descargas elétricas na atmosfera, formando eventualmente o nitrato (NO_3^-); e por meio da fixação industrial que sintetiza, por exemplo, a amônia (NH_3) que servirá de matéria prima para obtenção dos fertilizantes nitrogenados.

Depois de algum desses processos, o N_2 atmosférico torna-se disponível para as plantas, que utilizam o N para síntese de proteínas, aminoácidos e clorofila, e formação de outros compostos indispensáveis, como DNA, RNA, purina, pirimidina, colina e coenzimas. As plantas, após o seu ciclo de vida, são decompostas por organismos no solo, que transformam o N orgânico em inorgânico (mineralização) formando o amônio (NH_4^+) e o NO_3^- (nitrificação). Essas duas formas inorgânicas (NH_4^+ e NO_3^-) são as que a planta geralmente absorve, mas também pode ocorrer alguma absorção direta da uréia pelas folhas ou pequenas quantidades através de aminoácidos solúveis em água (Instituto da Potassa e Fosfato, 1998). O NO_3^- , sendo mais móvel no solo, também pode ser lixiviado para as camadas mais profundas alcançando o lençol freático e em condições anaeróbicas pode ser convertido aos vários óxidos de N (N-óxidos) e finalmente ao gás N_2 , voltando para a atmosfera (desnitrificação). Além disso, o N pode ser imobilizado na matéria orgânica do solo ou ser retirado do sistema através da colheita de produtos (Figura 1). Os fertilizantes nitrogenados, minerais ou orgânicos, passam por essas e outras transformações e a intensidade destas definem a disponibilidade de N para às plantas.

Ciclo do Nitrogênio

Fonte: Adaptado de Mikkelsen; Hartz (2008)

Figura 1.1 – Ciclo do nitrogênio

Portanto, considerando o compartimento solo na pastagem, pode haver entradas de N no sistema, tais como a fixação biológica do N_2 , a adubação nitrogenada e as excretas dos animais, assim como saídas de N pela desnitrificação, volatilização e a absorção das plantas forrageiras. Para maximizar a produção de forragem e minimizar as perdas que representam danos ambientais e prejuízos econômicos, é preciso conhecer bem os fatores que influenciam essas perdas e assim orientar o manejo a fim de tornar mais eficiente o uso dos fertilizantes nitrogenados. Das possíveis perdas de N para o ambiente, o objetivo dessa pesquisa foi avaliar a perda de $N-NH_3$ por volatilização do solo e por emissão foliar.

1.2 Perdas de amônia

Em pastagens tropicais, a volatilização de NH_3 é uma das principais vias de perda do N (MARTHA JÚNIOR, 1999; OLIVEIRA; TRIVELIN; OLIVEIRA, 2007). Grande parte da volatilização de N- NH_3 do solo ocorre em seguida à aplicação de fertilizantes nitrogenados, como a uréia, e pode chegar a 80% do N aplicado se as condições ambientais e do solo forem favoráveis à volatilização (MARTHA JÚNIOR, 1999). Já outros fertilizantes, como o nitrato de amônio, apresentam perdas muito menores (PRIMAVESI et al. 2001; PRIMAVESI et al. 2003). Os fatores que afetam a taxa de volatilização de N- NH_3 do solo são muitos, como as condições climáticas, as características do solo, a fonte do fertilizante, a dose e a forma como ele foi aplicado.

A emissão foliar de N- NH_3 pelas culturas também contribui para as perdas de N e é responsável por 15-20% do total das emissões de N- NH_3 (ASMAN; SUTTON; SCHJORRING, 1998). Essas perdas podem ocorrer durante todo o ciclo de vida da planta (FOWLER, 1996) e o principal fator responsável é o ponto de compensação de NH_3 , que varia de acordo com o estágio de desenvolvimento da planta, temperatura da folha, condutância dos estômatos, entre outros (SCHJORRING; HUSTED; MATTSSON, 1998). Além da emissão de N- NH_3 as folhas dos vegetais podem absorver parte do N- NH_3 que é volatilizado do fertilizante. Em pastagem, a absorção pelas folhas varia de 2,5 a 16,4% do N- NH_3 volatilizado (MARTHA JÚNIOR, 2009).

Como os diversos fatores que influenciam a volatilização e emissão de N- NH_3 geralmente estão inter-relacionados, as perdas de N- NH_3 são variáveis e de difícil previsão.

1.2.1 Perdas de amônia do solo por volatilização

Fontes de nitrogênio

As fontes de N apresentam diferentes potenciais de perdas de N- NH_3 por volatilização, embora todas que tenham o N na forma amoniacal estão sujeitas a essas perdas. Em solos ácidos, adubos como nitrato de amônio e sulfato de amônio, apresentam baixas perdas, enquanto a uréia é bastante susceptível à volatilização.

Cantarella et al. (1999) não constatarem volatilização de N-NH_3 em solo adubado com nitrato de amônio. Primavesi et al. (2001) encontraram perdas pequenas, de no máximo 1,6% do N aplicado, em pastagem de *Cynodon dactylon* (L.) Pers que recebeu nitrato de amônio, enquanto a adubação com uréia teve perdas de até 61,6% do N aplicado. Em pastagem de *Brachiaria brizantha* [(Hochst ex A. Rich.)] Stapf, a volatilização nas áreas adubadas com nitrato de amônio, alcançaram o máximo de 0,9% do N aplicado, enquanto nas adubadas com uréia, as perdas variaram de 3,3% a 47,3% (PRIMAVESI et al., 2003).

Apesar do alto potencial de volatilização da uréia, esta fonte de N é a mais utilizada no Brasil e no mundo, por apresentar vantagens como maior concentração de N, baixo custo de produção, de transporte e armazenamento, comparados aos demais fertilizantes nitrogenados sólidos. A uréia ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) possui 46% de N na forma amídica e quando aplicada no solo é hidrolisada pela ação da urease, uma enzima produzida por bactérias e fungos e também presente em resíduos vegetais. A hidrólise da uréia gera carbonato de amônio, composto instável, que é desdobrado em NH_3 , CO_2 e água (esquema 1 e 2).

Fatores que tem influência sobre a urease, como pH, temperatura e umidade do solo, consequentemente afetam a hidrólise da uréia e a volatilização de N-NH_3 .

Incorporação do fertilizante

A volatilização de N-NH_3 é reduzida com a incorporação da uréia no solo (CANTARELLA et al., 1999; LARA CABEZAS et al., 2000; OLIVEIRA; TRIVELIN; OLIVEIRA, 2007; TRIVELIN et al., 2002). Em pastagem de *Brachiaria brizantha*, a incorporação da uréia a 2,5 cm em solo com calagem, evitou a perda de 23,5% do N aplicado (240 kg/ha/ano) em relação à aplicação de uréia na superfície do solo (OLIVEIRA; TRIVELIN; OLIVEIRA, 2007). A incorporação reduz a volatilização, pois facilita o contato entre o fertilizante e as partículas do solo, o que aumenta a

adsorção de NH_4^+ às cargas negativas da fase sólida, dificultando sua transformação para NH_3 (SANGOI et al., 2003). Além disso, o N-NH_3 gasoso que sai do interior do solo em direção à atmosfera, encontra sítios com valores de pH menores do que aqueles existentes ao redor dos grânulos de uréia, e se transformam em amônio, que fica na solução do solo ou adsorvido às cargas negativas da fase sólida. (SANGOI et al., 2003).

Porém a incorporação da uréia aumenta o custo de operação e não é recomendada para pastagens estabelecidas que tenham hábito de crescimento cespitoso, pois prejudica o sistema radicular da planta e a rebrotação da pastagem (CORSI; NUSSIO, 1993). Então, uma alternativa viável é a incorporação da uréia pela água da chuva ou irrigação.

Black, Sherlock e Smith (1987), observaram que chuvas de 4 e 16 mm, quando ocorrem em período de até de 3 h após a aplicação da uréia, são eficazes na redução das perdas de N-NH_3 por volatilização, em pastagem. Porém, esse efeito é reduzido, quando há atraso de 48 h entre a adubação e a chuva. A adição de 16 mm de água, 48 e 96 h, após a aplicação da uréia, foi seguida de um período de rápida hidrólise e volatilização, enquanto no solo secado ao ar, a hidrólise foi lenta. Kissel et al. (2004), também constataram que a simulação de chuva imediatamente após a aplicação da uréia reduziu as perdas para menos de 1% do N aplicado, porém quando a chuva ocorreu depois que o grânulo de uréia foi dissolvido pelo orvalho, as perdas não foram afetadas ou foram estimuladas. De acordo com esses autores, isso ocorreu porque a chuva não foi capaz de incorporar a uréia e aumentou o índice de água no solo, o que aumenta a taxa de hidrólise.

Como a hidrólise da uréia ocorre rapidamente e as perdas de N-NH_3 por volatilização se concentram nos primeiros seis dias após a aplicação do fertilizante (ALVES, 2006; COSTA; VITTI; CANTARELLA, 2003; LARA CABEZAS; TRIVELIN, 1990), a chuva só é eficaz para reduzir as perdas se ocorrer em um período curto após a aplicação da uréia (BLACK; SHERLOCK; SMITH, 1987; KISSEL et al., 2004) e em quantidade suficiente para incorporá-la ao solo.

Fatores edafoclimáticos

pH do solo

O pH altera o equilíbrio entre NH_4^+ e NH_3 na solução do solo, de forma que o aumento do pH favorece a formação de NH_3 e a volatilização (ERNST; MASSEY, 1960), enquanto em pH baixo predomina a formação de NH_4^+ que é estável. Durante a hidrólise da uréia, o consumo de íons H^+ do solo, aumenta o pH próximo ao grânulo do fertilizante (esquemas 3 e 4). E assim, mesmo em solos ácidos, como os que predominam no Brasil, a uréia está sujeita a perda de N-NH_3 por volatilização (CANTARELLA; MARCELINO, 2006; TRIVELIN; LARA CABEZAS; BOARETTO, 1994) (esquema 4). Por outro lado, fertilizantes nitrogenados, como o nitrato de amônio, são menos susceptíveis à volatilização, pois a maior parte do N fica na forma NH_4^+ . O aumento do pH pela hidrólise da uréia é provisório, pois o NH_4^+ é convertido rapidamente em NO_3^- (nitrificação), ou NH_3 (dissolvido) (esquema 5), liberando íons H^+ , o que abaixa o pH. No entanto, esse aumento provisório no pH pode levar a altas taxas de volatilização N-NH_3 da uréia (esquema 6).

pH do solo $\geq 6,3$

pH do solo $< 6,3$

Umidade e taxa de evaporação de água do solo

Além da ação de incorporação, a adição de água influencia a taxa de hidrólise da uréia, pois aumenta a difusão da uréia no solo, permitindo seu maior contato com a urease (SAVANT et al., 1987) e também afeta a atividade dessa enzima (LONGO;

MELO, 2005). A taxa de hidrólise aumenta conforme o teor de umidade do solo se eleva, até que este atinja 20%, a partir desse ponto a hidrólise é pouco afetada pelo teor de água no solo (BREMNER; MULVANEY, 1978 citado por CANTARELLA, 2006).

A uréia pode permanecer estável, quando aplicada em solo seco (CANTARELLA, 2006; VOLK, 1966) ou quando o solo seca rapidamente após a adubação (FERGUSON; KISSEL, 1996), o que reduz as perdas de N-NH_3 . Duarte et al. (2007) observaram ausência de volatilização de N quando a uréia foi aplicada em solo seco, isso ocorreu porque a umidade do solo não foi suficiente para hidrolisar a uréia e promover o seu contato com a urease do solo, assim, a formação de produtos que causam volatilização foi interrompida. Porém, esses autores ressaltaram que a baixa umidade do solo, observada no tratamento que não houve volatilização, pode comprometer o desenvolvimento da cultura.

A volatilização da amônia está diretamente relacionada com a umidade inicial do solo e com a duração do processo de secagem (ERNST; MASSEY, 1960), e também com umidade relativa do ar (REYNOLDS; WOLF, 1987). Geralmente, a maior volatilização ocorre quando há perda de umidade do solo (CLAY, MALZER; ANDERSON, 1990; ERNEST; MASSEY, 1960). Porém, em condições em que a secagem do solo é muito rápida, a volatilização da amônia é reduzida, pois a hidrólise da uréia é retardada pela falta da umidade (ERNEST; MASSEY, 1960; REYNOLDS; WOLF, 1987).

Teor de matéria orgânica e capacidade troca de cátions no solo

Em pastagem, o alto teor de matéria orgânica no solo e a presença da liteira (colmos e folhas senescentes depositados na superfície do solo), aumentam a taxa de hidrólise. Isto ocorre porque a enzima urease é produzida por microrganismos, como bactérias e fungos que são mais ativos na presença do material orgânico. A liteira também contribui para a volatilização de N-NH_3 , pois além de possuir pH alto, a sua presença na superfície do solo pode impedir que o NH_4^+ produzido pela hidrólise da uréia seja adsorvido. Por outro lado, a matéria orgânica do solo aumenta a capacidade de troca de cátions, reduzindo a volatilização, pois diminui a concentração de NH_4^+ disponível para a conversão a NH_3 na solução do solo.

Temperatura e Vento

A elevação da temperatura aumenta a volatilização de amônia, pois favorece a formação de NH_3 em relação ao NH_4^+ na solução do solo, aumenta a difusão da NH_3 e as taxas de evaporação de água do solo e ainda eleva a atividade da urease (TRIVELIN; LARA CABEZAS; BOARETTO, 1994). Além disso, em altas temperaturas, a NH_3 , como outros gases, torna-se mais volátil. De acordo com Bremner; Mulvaney, 1978 citados por Cantarella, 2006, a hidrólise da uréia aumenta com a elevação da temperatura até 40°C.

O vento tem efeito positivo sobre a volatilização de NH_3 (THOMPSON; PAIN; REES, 1990). Quando a estrutura da pastagem não reduz a velocidade do vento no interior da cobertura vegetal, as perdas de N- NH_3 para a atmosfera são facilitadas e a chance do N- NH_3 ser absorvido pelas folhas é menor (SOMMER; JENSEN; SCHJORRING, 1993).

Porém, as perdas de N- NH_3 podem ser reduzidas com a secagem da superfície do solo, provocada pelo vento (BOUWMEESTER; VLEK; STUMPE, 1985) ou por altas temperaturas.

1.2.2 Perdas de amônia por emissão foliar

Parte do N assimilado pelos vegetais pode ser perdida pela parte aérea, por emissão foliar, principalmente na forma de amônia (TRIVELIN, et al. 2002). Essas perdas podem ocorrer durante todo o ciclo de vida do vegetal (FOWLER, 1996) e o principal fator que afeta a taxa de emissão foliar é o ponto de compensação de NH_3 , que varia de acordo com a remobilização do N da planta e seu estágio de desenvolvimento, com pico de emissão de NH_3 ocorrendo durante a senescência (SCHJORRING; HUSTED; MATTSSON, 1998). A temperatura da folha tem grande influência no ponto da compensação NH_3 , de forma que o aumento na temperatura de 15 para 30°C pode fazer com que a planta passe de emissora para absorvedora de NH_3 da atmosfera (SCHJORRING; HUSTED; MATTSSON, 1998).

Outro fator que interfere nas perdas de N pela parte aérea dos vegetais é a disponibilidade de água, visto que esta influencia a condutância dos estômatos (WETSELAAR; FARQUHAR, 1980 citado por FRANCO et al., 2008). Em pastagem de *Brachiaria decumbens* Stapf, o déficit hídrico (solo com 20% da capacidade

máxima de retenção de água) minimizou as perdas de N pela parte aérea da planta forrageira durante a fase de pós-antese, sendo estas de apenas 11% em relação às plantas colhidas na antese com umidade do solo mantida a 60% da capacidade máxima de retenção de água (FRANCO et al., 2008).

1.3 Métodos para determinar a volatilização e emissão foliar de amônia

As perdas por volatilização de amônia do solo, que recebeu aplicação de fertilizantes nitrogenados, podem ser estimadas por métodos diretos ou indiretos (LARA CABEZAS; TRIVELIN, 1990). Os métodos diretos necessitam de aparelhos específicos e são basicamente: método micrometeorológico; e métodos com câmaras fechadas ou semi-abertas, estático, semi-estático ou dinâmico com fluxo de ar ou gás inerte de arraste isento de amônia. Os métodos indiretos podem ser realizados utilizando fertilizante isotopicamente marcado (^{15}N) (TRIVELIN, 2001).

O método micrometeorológico integra o fluxo de entrada e saída de amônia em uma grande área, a vantagem desse método em relação aos métodos com câmaras é que ele não interfere nos processos de volatilização, uma vez que não altera as condições ambientais próximas a superfície do solo (TRIVELIN, 2001). Porém, requer a utilização de aparelhos sofisticados e caros, como microanemômetro e detectores de gases (DENMEAD, 1983).

Os métodos com câmaras são relativamente simples e próprios para experimentos com parcelas pequenas e com vários tratamentos numa mesma área, uma das desvantagens desse sistema é a formação de microclimas, que modificam as condições ambientais no seu interior, como: intensidade e comprimento de onda da luz; temperatura; ventilação; umidade relativa e a formação do orvalho que certamente influenciam a volatilização de N-NH_3 quando comparado com condições naturais (TRIVELIN, 2001; LARA CABEZAS; TRIVELIN, 1990).

Os coletores descritos por Nönmik, 1973, com sistema semi-aberto estático, são utilizados em estudos de campo e também apresentam limitações (LARA CABEZAS; TRIVELIN, 1990). Apesar de possibilitarem o intercâmbio relativamente livre do ar entre a superfície do solo e a atmosfera, permitindo a difusão da amônia, eles provocam alterações na temperatura, umidade relativa, taxa de evaporação da água do solo e pressão de amônia no ambiente da câmara, reduzindo a

porcentagem e a quantidade de amônia volatilizada do fertilizante (LARA CABEZAS; TRIVELIN, 1990).

Lara Cabezas e Trivelin (1990) calibraram um coletor semi-aberto estático, usando como referência o método por balanço de ^{15}N . Isso possibilitou quantificar as perdas de amônia por volatilização sem o uso de fertilizante isotopicamente marcado (TRIVELIN, 2001). Entretanto, a calibração realizada se presta somente para condições de solo exposto, fato que limita sua aplicação apenas para pastagens de hábito de crescimento cespitoso, que formam touceiras e possuem áreas de solo exposto. Para pastagens que cobrem a superfície do solo não é indicado esse tipo de coletor.

Outro método utilizado na quantificação das perdas de N-NH_3 é o balanço de ^{15}N , no qual as perdas de amônia são estimadas indiretamente pela diferença entre a massa de ^{15}N adicionada pelo fertilizante e a massa recuperada de ^{15}N após um determinado tempo de medida (TRIVELIN, 2001). Por este método podem ser quantificadas as perdas por volatilização e emissão foliar de N-NH_3 , desde que as perdas por desnitrificação e lixiviação sejam evitadas ou quantificadas. Pelo método do balanço de ^{15}N é possível calibrar métodos diretos, como os que utilizam câmaras de retenção de amônia. A principal restrição que tem sido feita ao uso do ^{15}N relaciona-se aos custos de fontes marcadas com o isótopo e das análises isotópicas (LARA CABEZAS; TRIVELIN, 1990).

Verificando a dificuldade da quantificação da volatilização no campo, principalmente em pastagens, uma vez que os métodos geralmente utilizados são de custo elevado ou causam alterações nas condições ambientais próxima à superfície do solo, devido à presença da câmara coletora, Alves (2006) testou alguns métodos simples e acessíveis para a avaliação dessas perdas. O método com melhor resultado foi o absorvedor de espuma, semelhante ao usado por Trivelin e Manzoni (2002). Esses absorvedores, quando colocados a 1 cm acima do solo, são eficientes para quantificar a volatilização de N-NH_3 do solo (ALVES, 2006), porém não se sabe ainda se quando colocados acima da folhagem, são capazes de quantificar a emissão foliar, o que seria um importante passo para o melhor conhecimento desse tipo de perda.

2 MÉTODOS DO ABSORVEDOR COM ESPUMA E BALANÇO DO ^{15}N PARA QUANTIFICAR A EMISSÃO DE AMÔNIA PELA FOLHAGEM DE *Brachiaria brizantha* cv. Marandu

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo avaliar um método alternativo para mensurar a amônia (NH_3) emitida pela folhagem da pastagem, com baixo custo e pouca interferência no processo de perda do nitrogênio. O experimento foi realizado em vasos em casa de vegetação. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado e o experimento em fatorial 5 x 2 (cinco tipos de fertilizantes e dois métodos de mensuração das perdas), portanto, com dez tratamentos e quatro repetições. Os fertilizantes avaliados foram uréia marcada a 5,33 e 9,97% em átomos de ^{15}N e nitrato de amônio marcado a 5,07, 9,59 e 13,80% em átomos de ^{15}N . Os métodos utilizados foram do absorvedor com espuma e do balanço de ^{15}N . Foram acrescentados dois tratamentos controle, o nitrato de amônio e a uréia sem marcação. Após aplicação do fertilizante nitrogenado, os absorvedores com espuma foram ajustados a altura de 1 cm acima da folhagem e trocados por novos a cada dois dias. Após 24 dias de experimento, quantificou-se o nitrogênio nas espumas dos absorvedores coletadas ao longo do tempo e realizou-se a determinação da abundância de ^{15}N e do teor de nitrogênio das estruturas da planta e no solo. O absorvedor de amônia mostrou-se um método efetivo para mensurar as perdas de amônia por volatilização e por emissão foliar.

Palavras-chave: NH_3 ; nitrato de amônio; nitrogênio; pastagem; uréia

ABSTRACT

FOAM ABSORBER AND ^{15}N BALANCE METHODS TO QUANTIFY AMMONIA EMISSION FROM *Brachiaria brizantha* cv. Marandu LEAVES

This research aim was to evaluate an alternative method to measure N-NH₃ emission from leaves with low cost and little interference in pasture volatilization process and development. The experiment was carried out in vases in greenhouse environment. The experiment had a 5 x 2 factorial design completely randomized (five fertilizer types and two loss measurement methods), thus with ten treatments and four replications. Evaluated fertilizers were: urea labeled with 5.33 and 9.97 atoms % ^{15}N and ammonium nitrate labeled with 5.07, 9.59 and 13.8 atoms % ^{15}N . The methods were foam absorber and ^{15}N balance; however, two control treatments were added: unlabeled ammonium nitrate and unlabeled urea. After the fertilizer addition, the foam absorbers, which were made of foam soaked in phosphoric acid and wrapped with polytetrafluoroethylene tape, were adjusted at a height of 1 cm above the leaves and replaced by new ones every two days. After 24 days, nitrogen in the foam collected throughout the time was quantified, as well as ^{15}N abundance and nitrogen level from plant structures and soil. The ammonia absorber method was effective to measure ammonia losses from volatilization and foliar emission.

Key words: NH₃; ammonium nitrate; nitrogen; pasture; urea

2.1 INTRODUÇÃO

As perdas gasosas por volatilização de amônia (NH_3) para atmosfera estão entre as principais causas de ineficiência do uso dos fertilizantes nitrogenados (OLIVEIRA; TRIVELIN; OLIVEIRA, 2007). Além da volatilização de N-NH_3 que ocorre quando fertilizantes, como a uréia, são aplicados no solo, o N assimilado pelos vegetais também pode ser perdido na forma de NH_3 pela parte aérea das plantas (TRIVELIN et al., 2002), o que representa de 15-20% do total das emissões de N-NH_3 (ASMAN; SUTTON; SCHJORRING, 1998).

O conhecimento dessas perdas é importante para orientação do manejo, visando melhorar o aproveitamento do fertilizante, o que é indispensável para viabilidade econômica no processo de intensificação de pastagens e também para diminuição do potencial de danos ao meio ambiente. Porém, os métodos utilizados para estimar as perdas por volatilização, apresentam custo elevado, ou utilizam câmaras coletoras que causam alterações nas condições ambientais próximas à superfície do solo e não quantificam a emissão foliar de N-NH_3 . Então, apesar da importância dessas perdas em pastagens a sua magnitude, principalmente da ocorrida via foliar, é pouco conhecida e entre as causas estão a falta de métodos específicos para sua determinação e a dificuldade dessas medições no campo. Deste modo, o presente trabalho teve como objetivo comparar a eficiência do absorvedor com espuma em capturar e absorver a amônia emitida pelas plantas em relação ao método tradicional do balanço de ^{15}N .

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

Estrutura física e delineamento experimental

O experimento foi implantado, em vasos em casa de vegetação, na Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos/USP, em Pirassununga, SP (21°59' S, 47°26' W, 634 m de altitude). A terra utilizada foi retirada da camada de 0-20 cm de um solo classificado como Latossolo Vermelho Amarelo (EMBRAPA, 1999). Realizou-se análise das características químicas do solo e a sua densidade foi determinada utilizando anéis volumétricos. O cálculo da necessidade de calcário foi realizado pelo método de saturação por bases e após a calagem a terra

permaneceu incubada por 90 dias. Ao fim do período de incubação outra amostra foi coletada e suas características químicas foram analisadas (Tabela 2.1).

Tabela 2.1 – Características químicas da terra usada no enchimento dos vasos

pH	MO	P	S	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	SB	V	m	B	Cu	Fe	Mn	Zn
CaCl ₂	g/dm ³	mg/dm ³										%					mg/dm ³
5,9	21	8	3	1,3	34	7	17	TR	59	42	71	TR	0,05	1,5	12	6,6	1,7

MO = matéria orgânica; CTC = capacidade de troca de cátions; SB = soma de bases; V = saturação por bases; m = saturação por alumínio

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado e o experimento em fatorial 5 x 2 (cinco níveis de enriquecimento com átomos de ¹⁵N associados com fontes e dois métodos de mensuração das perdas), portanto, com dez tratamentos e quatro repetições. Foram acrescentados dois tratamentos controle. Os tratamentos avaliados foram:

- 1) uréia marcada a 5,33% em átomos de ¹⁵N e método do absorvedor;
- 2) uréia marcada a 5,33% em átomos de ¹⁵N e método do balanço ¹⁵N;
- 3) uréia marcada a 9,97% em átomos de ¹⁵N e método do absorvedor;
- 4) uréia marcada a 9,97% em átomos de ¹⁵N e método do balanço ¹⁵N;
- 5) nitrato de amônio marcado a 5,07% em átomos de ¹⁵N e método do absorvedor;
- 6) nitrato de amônio marcado a 5,07% em átomos de ¹⁵N e método do balanço ¹⁵N;
- 7) nitrato de amônio marcado a 9,59% em átomos de ¹⁵N e método do absorvedor;
- 8) nitrato de amônio marcado a 9,59% em átomos de ¹⁵N e método do balanço ¹⁵N;
- 9) nitrato de amônio marcado a 13,80% em átomos de ¹⁵N e método do absorvedor;
- 10) nitrato de amônio marcado a 13,80% em átomos de ¹⁵N e método do balanço ¹⁵N;
- 11) uréia sem marcação
- 12) nitrato de amônio sem marcação.

Os tratamentos com uréia e nitrato de amônio sem marcação foram utilizados para fornecer a abundância natural de ¹⁵N do fertilizante, nas diversas estruturas da planta e no solo. As diferentes marcações em átomos de ¹⁵N nos fertilizantes têm como finalidade verificar quais são suficientes para a realização de experimentos deste tipo e assim reduzir os custos dos fertilizantes isotopicamente marcados, uma vez que se tornam mais caros, quanto maior for a % em átomos de ¹⁵N.

Adubação, plantio e condução do experimento

Em maio de 2006, a terra utilizada para preenchimento dos vasos foi misturada com doses equivalentes a 1200 kg/ha de superfosfato simples, 264 kg/ha de cloreto de potássio e 5,8 kg/ha de ácido bórico, doses suficientes para o adequado desenvolvimento das plantas. A dose de fósforo foi dobrada devido à mistura do fertilizante com toda a terra de preenchimento dos vasos, fato que aumenta a oportunidade de fixação do mesmo. Os vasos de plástico com capacidade de 7 litros e sem furos para escoamento de água foram preenchidos com 7 kg de terra com as características químicas apresentadas na Tabela 1. A ausência de furos nos vasos tinha como objetivo impedir as perdas de nitrogênio por lixiviação.

A semeadura da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu foi realizada em 15/05/2006. As plantas se estabeleceram e formaram touceiras. Em 21/06/2006 foram cortadas e receberam a adubação com 50 kg/ha de N na forma de uréia. Em 29/07/2006 foi realizado outro corte de uniformização e adubação com 50 kg/ha de N novamente na forma de uréia, porque não havia disponibilidade de nitrato de amônio duplamente marcado. Em 29/09/2006 foi realizado novo corte e procedeu-se a aplicação dos tratamentos. Aplicou-se em cada vaso uma dose de uréia ou nitrato de amônio equivalente a 75 kg/ha de N. Nos tratamentos controle aplicou-se uréia e nitrato de amônio convencional, enquanto no tratamento do balanço de ^{15}N aplicou-se uréia ou nitrato de amônio com enriquecimento em átomos de ^{15}N relativo a cada tratamento. O fertilizante foi diluído em água e aplicado em superfície na terra dos vasos.

Em seguida, os absorvedores com espuma foram posicionados nos vasos, 1 cm acima das folhas superiores do dossel, com exceção dos tratamentos controle. Os absorvedores com espuma eram constituídos de espumas, de 8x8 cm e densidade de 20 kg/m³, embebidas em 11 mL de ácido fosfórico (0,5 N) com 5% de glicerina e colocadas sobre placa de PVC com dimensão de 10x10 cm, tudo isso envolvido por uma camada de fita de politetrafluoretileno (fita veda-rosca) (ALVES,2006). Conforme as plantas se desenvolviam, os absorvedores eram deslocados ficando sempre a 1 cm das folhas superiores. Detalhes do vaso com o absorvedor podem ser vistos na Figuras 2.1 e 2.2.

Figura 2.1 – Absorvedor de espuma posicionado 1 cm acima das folhas superiores

Figura 2.2 – Absorvedor de espuma disposto sobre o vaso

Para evitar as perdas por desnitrificação, a umidade da terra foi mantida a 50% da umidade da capacidade de campo, procedendo a pesagem e irrigação diária. Como a volatilização de N-NH_3 é baixa quando se usa o nitrato de amônio, foi assumido que as perdas de N para essa fonte ocorreram por emissão de NH_3 via foliar. Já nas parcelas adubadas com uréia, as perdas foram simultaneamente por volatilização e por emissão foliar devido às características desse tipo de fertilizante.

Os absorvedores com espuma foram trocados a cada dois dias para determinação da amônia, sendo, portanto, realizadas 14 amostragens num período de 28 dias. As coletas foram encerradas em 27/10/06 e as plantas foram colhidas, separadas em parte-aérea (acima de 15 cm de altura), resíduo (de 0 a 15 cm de altura), líter, coroa e raízes nas profundidades de 0 a 5 cm, 5 a 12 cm, 12 a 19 cm, e, em seguida foram secadas em estufa de circulação forçada de ar a 65°C até peso constante. O solo foi coletado nas mesmas profundidades que o sistema radicular, contemplando toda a profundidade do vaso. O solo foi borrifado com uma solução de H_2SO_4 5 M para evitar a volatilização do N-NH_3 e secado em estufa a 40°C . Foram determinados o teor de nitrogênio e da abundância de ^{15}N em espectrômetro de massa ANCA SL, no CENA/USP, em todas as estruturas da planta e no solo.

Das parcelas que não receberam adubação com o traçador isotópico, foram amostrados as plantas e o solo para determinação da abundância natural de ^{15}N . Também foi determinada a abundância natural de ^{15}N nos fertilizantes convencionais. A amostragem das plantas e do solo podem ser visualizada na Figura 2.3.

Figura 2.3 – Amostragem das plantas em diferentes estruturas e do solo em diferentes profundidades

A porcentagem de N nas estruturas das plantas, no lter e no solo proveniente do fertilizante (%NPPF) foi calculada conforme a equao 1, e a quantidade de N nas estruturas das plantas ou no solo proveniente do fertilizante (QNPPF), conforme a equao 2. A recuperao do nitrognio, aplicado na forma de uria nas estruturas das plantas (parte area, resduo, coroa e sistema radicular nas diferentes profundidades) e a quantidade de nitrognio retido no solo tambm foram calculadas. A recuperao foi obtida dividindo-se a QNPPF para cada estrutura pela dose de N, da uria ou nitrato de amnio aplicada no ciclo (75 kg/ha de N). A reteno de N no solo foi obtida pela diviso da quantidade de nitrognio no solo, proveniente do fertilizante pela dose de N da uria ou nitrato de amnio, aplicado no ciclo. As perdas por volatilizao e emisso de amnia via foliar foram calculadas subtraindo-se de 100 a soma da recuperao e reteno no solo.

$$\%NPPF = [(a-c)/(b-c)] \cdot 100 \quad (\text{equao 1})$$

onde:

a = abundância de ^{15}N em % de átomos em cada estrutura da planta ou no solo.

b = 5,22% (abundância de ^{15}N no fertilizante)

c = abundância de ^{15}N natural (mensurada na planta e solo testemunha)

$$\text{QNPPF(g/microparcela)} = [\% \text{NPPF}/100] \cdot N_p \quad (\text{equação 2})$$

onde:

N_p = N acumulado nas estruturas das plantas ou no solo do vaso em g.

Os dados foram submetidos a análise da variância, utilizando o teste F, e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste Tukey (SAS, 1999).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Alguns conceitos devem ser lembrados para que seja possível realizar a discussão dos resultados. Para os tratamentos uréia marcada a 5,33% e a 9,97% em átomos de ^{15}N , usando-se o método do balanço de ^{15}N , as perdas mensuradas são por volatilização e emissão foliar de amônia. Para os tratamentos nitrato de amônio, as perdas mensuradas são por emissão foliar, uma vez que as perdas por lixiviação e desnitrificação foram evitadas e as perdas por volatilização dessa fonte é muito baixa. Entretanto, para os tratamentos com uréia marcada a 5,33% e a 9,97% em átomos de ^{15}N , nas perdas determinadas pelo uso do absorvedor, haveria a possibilidade de ser detectado não apenas a emissão via foliar, mas também alguma porção da amônia perdida por volatilização. Para verificar qual tipo de perda o absorvedor estaria detectando haveria necessidade de comparação dos tratamentos entre si.

Na análise da variância observou-se interação dos fertilizantes testados com o método usado para capturar a amônia emitida, quer por volatilização ou por emissão via foliar. Dessa forma, as parcelas com uréia marcada e a determinação das perdas pelo método do balanço de ^{15}N apresentaram médias superiores aos demais tratamentos, o que atendeu às expectativas, uma vez que as perdas medidas nesses dois tratamentos foram por emissão diretamente das folhas da pastagem e por volatilização (Tabela 2.2).

Para os tratamentos uréia marcada a 5,33% e a 9,97% em átomos de ^{15}N e o nitrato de amônio marcado a 5,07%, a 9,59% e a 13,80%, utilizando-se o absorvedor, as perdas médias foram iguais ($P>0,05$). Para esses tratamentos também foram constatadas perdas semelhantes aos tratamentos nitrato de amônio marcado a 5,07% e a 9,59% em átomos de ^{15}N determinadas pelo método do balanço de ^{15}N , o que é importante porque evidencia que os coletores de amônia posicionados à altura de 1 cm acima da folhagem, mesmo quando a fonte do fertilizante nitrogenado for a uréia, são eficientes em captar apenas o N perdido por emissão foliar.

Para o tratamento nitrato de amônio marcado a 13,80% e perdas determinadas pelo método do balanço de ^{15}N as médias foram superiores às aquelas obtidas para o tratamento nitrato de amônio marcado a 5,07% e mensuradas pelos dois métodos (Tabela 2.2).

Tabela 2.2 – Perdas de nitrogênio na forma de amônia mensurada pelo método do absorvedor de espuma e o balanço de ^{15}N

Tratamento		Perdas de N-amônia		Tipo de perda
Fertilizante	Método	(%)	(mg/vaso)	mensurada
Uréia 5,33%	balanço ^{15}N	24,88 a	82,58 a	volatilização e emissão foliar
Uréia 9,97%	balanço ^{15}N	23,59 a	78,21 a	volatilização e emissão foliar
Nitrato de amônio 13,80%	balanço ^{15}N	9,25 b	30,89 b	emissão foliar
Uréia 5,33 %	absorvedor	4,83 bc	16,03 bc	emissão foliar
Uréia 9,97%	absorvedor	4,65 bc	15,42 bc	emissão foliar
Nitrato de amônio 13,80%	absorvedor	3,36 bc	14,91 bc	emissão foliar
Nitrato de amônio 9,59%	absorvedor	3,22 bc	13,54 bc	emissão foliar
Nitrato de amônio 9,59%	balanço ^{15}N	2,32 bc	7,68 bc	emissão foliar
Nitrato de amônio 5,07%	absorvedor	1,36 c	5,19 c	emissão foliar
Nitrato de amônio 5,07%	balanço ^{15}N	0,72 c	2,39 c	emissão foliar
Média Geral		7,82	27,7	
Coeficiente de variação (%)		40,4	36,8	
Probabilidade		**	**	

Médias, dentro de uma mesma coluna, seguidas por letras distintas diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

Na Figura 2.4, podem ser observadas as perdas diárias (kg/ha/dia). No segundo e quarto dia após adubação, a taxa de volatilização para uréia foi maior que para o nitrato de amônio, o que indica que os absorvedores de amônia colocados 1 cm acima das folhas superiores captaram parte do N-NH_3 volatilizado do solo, provavelmente quando houve o pico de volatilização.

Figura 2.4 – Perdas de nitrogênio na forma de amônia mensurada pelo método do absorvedor de espuma para a uréia e nitrato de amônio
Letras distintas, na vertical, diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade. Coeficiente de variação = 21,47.

2.4 CONCLUSÃO

O absorvedor de amônia com espuma, colocado à altura de 1 cm acima das folhas superiores, é eficiente em capturar o N perdido por emissão foliar da pastagem, quando se fertiliza em superfície com nitrato de amônio e uréia.

3 DETERMINAÇÃO DAS PERDAS DE AMÔNIA POR VOLATILIZAÇÃO E EMISSÃO FOLIAR PELO MÉTODO DO BALANÇO DE ^{15}N NA PRESENÇA OU AUSÊNCIA DE ABSORVEDORES DE AMÔNIA

RESUMO

O objetivo deste experimento, realizado em casa de vegetação, foi verificar se a presença do coletor poderia interferir no processo de medida da volatilização de amônia. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado e o experimento em fatorial 2 x 2, com quatro repetições. Os tratamentos avaliados foram: uréia marcada a 5,33% em átomos de ^{15}N sem absorvedor; uréia marcada a 5,33% em átomos de ^{15}N com absorvedor; nitrato de amônio marcado a 13,80% em átomos de ^{15}N sem absorvedor; nitrato de amônio marcado a 13,80% em átomos de ^{15}N com absorvedor. Aplicou-se, à terra de cada vaso, a dose de N equivalente a 75 kg/ha, sendo em seguida os absorvedores com espuma ajustados aos vasos a 1 cm de altura do relvado, com substituição por novos a cada dois dias. Após 28 dias de experimento, realizou-se a determinação da abundância de ^{15}N e do teor de nitrogênio em todas as estruturas da planta e no solo. A presença do absorvedor com espuma não interfere no processo de mensuração das perdas de nitrogênio na forma de amônia.

Palavras-chave: NH_3 ; nitrato de amônio; nitrogênio; pastagem; uréia

ABSTRACT

AMMONIA LOSS MEASUREMENT FROM VOLATILIZATION AND FOLIAR EMISSION BY THE ^{15}N BALANCE METHOD WITH OR WITHOUT AMMONIA ABSORBERS

The objective of this research work was to verify whether or not the presence of the collector would interfere in the ammonia volatilization measurement process and plant development. The experiment was performed in greenhouse conditions and it had a 2 x 2 factorial design completely randomized with four replications. Evaluated treatments were: urea labeled with 5.33 atoms % ^{15}N without absorber, urea labeled with 5.33 atoms % ^{15}N with absorber, ammonium nitrate labeled with 13.8 atoms % ^{15}N without absorber, ammonium nitrate labeled with 13.8 atoms % ^{15}N with absorber. An N level of 75 kg/ha was added and subsequently the described treatments received foam absorbers which were placed in vases at a height of 1 cm above the plants and replaced by new ones every two days. After 28 days, was quantified as ^{15}N abundance and nitrogen level from plant structures and soil. The presence of the foam absorbers did not interfere in the ammonia loss measurement process.

Key words: ammonium nitrate; NH_3 ; nitrogen; pasture; urea

3.1 INTRODUÇÃO

Em pastagens, as perdas de N-NH_3 por emissão foliar e principalmente por volatilização do solo, são as principais formas de perda de N. Isso representa prejuízo ambiental e econômico, uma vez que os fertilizantes nitrogenados apresentam alto custo e quando são perdidos para atmosfera podem causar danos como eutrofização de lagos e rios e afetar a biodiversidade de plantas em sistemas naturais. Fazendo-se o manejo adequado dos fertilizantes e das pastagens pode-se aumentar a eficiência dos fertilizantes, melhorar a produtividade e qualidade nutricional das plantas forrageiras estabelecidas, além de diminuir o potencial de danos ambientais. Para isso é importante conhecer bem as perdas de N-NH_3 e os fatores que as influenciam. Assim, torna-se imprescindível quantificar a volatilização e emissão foliar de N-NH_3 , de preferência usando métodos simples, de baixo custo e que não causem alteração nos processos de volatilização e emissão N-NH_3 . Este experimento teve como objetivo, verificar se a presença do absorvedor com espuma interfere no processo de volatilização do solo e emissão foliar de N-NH_3 .

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado e conduzido em vasos em casa de vegetação, na Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos/USP, em Pirassununga, SP. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado e o experimento em fatorial 2×2 , com 4 repetições. Os tratamentos avaliados foram dois fertilizantes (uréia marcada a 5,33% em átomos de ^{15}N e nitrato de amônio marcado a 13,80% em átomos de ^{15}N) e a presença ou ausência do absorvedor com espuma. Foram adicionados dois tratamentos controle para determinar a abundância natural de ^{15}N (uréia e nitrato de amônio sem marcação). Os vasos com capacidade para 7L foram cheios com terra de um solo classificado como Latossolo Vermelho Amarelo (EMBRAPA, 1999). O capim utilizado foi o Marandu [*Brachiaria brizantha* (Hochst ex A. Rich.) Stapf] semeado em 15/05/2006. Em 29/09/2006 realizou-se corte das plantas a 15 cm de altura da terra dos vasos e a adubação com dose equivalente a 75 kg/ha de N. Os fertilizantes nitrogenados foram diluídos em água e aplicados em superfície na terra dos vasos. Em seguida, os absorvedores com espuma foram

posicionados 1 cm acima das folhas superiores, de acordo com os tratamentos. Conforme as plantas se desenvolviam, os absorvedores eram novamente posicionados, para que ficassem sempre a 1 cm das folhas superiores.

As plantas foram colhidas, 28 dias após a adubação, e separadas em parte aérea (acima de 15 cm de altura), resíduo (de 0 a 15 cm de altura), líter, coroa e raízes nas profundidades de 0 a 5 cm, 5 a 12 cm, 12 a 19 cm, em seguida foram secadas em estufa de circulação forçada de ar a 65°C até peso constante. O solo foi coletado nas mesmas profundidades que o sistema radicular, contemplando toda a profundidade do vaso. O solo foi borrifado com uma solução de H₂SO₄ 5 M para evitar a volatilização do N-NH₃ e secado em estufa a 40°C. Foram determinados o teor de nitrogênio e da abundância de ¹⁵N em espectrômetro de massa ANCA SL, no CENA/USP em todas as estruturas da planta e no solo.

Para o cálculo do balanço de ¹⁵N determinou-se a abundância natural de ¹⁵N nas plantas e no solo que não receberam adubação com o traçador isotópico (tratamentos controle) e nos fertilizantes convencionais. A porcentagem de N nas estruturas das plantas, no líter e no solo proveniente do fertilizante (%NPPF) foi calculada conforme a equação 1, e a quantidade de N nas estruturas das plantas ou no solo proveniente do fertilizante (QNPPF), conforme a equação 2. A recuperação do nitrogênio, aplicado na forma de uréia nas estruturas das plantas (parte aérea, resíduo, coroa e sistema radicular nas diferentes profundidades) e a quantidade de nitrogênio retido no solo, também foram calculadas. A recuperação foi obtida dividindo-se a QNPPF para cada estrutura pela dose de N, da uréia ou nitrato de amônio, aplicada no ciclo (75 kg/ha de N). A retenção de N no solo foi obtida pela divisão da quantidade de nitrogênio no solo, proveniente do fertilizante, pela dose de N, da uréia ou nitrato de amônio, aplicada no ciclo. As perdas de N-NH₃ por volatilização e emissão foliar foram calculadas subtraindo-se de 100 a soma da recuperação e retenção no solo.

$$\%NPPF = [(a-c)/(b-c)]. 100 \quad \text{(equação 1)}$$

onde:

a = abundância de ¹⁵N em % de átomos em cada estrutura da planta ou no solo.

b = 5,22% (abundância de ¹⁵N no fertilizante)

c = abundância de ¹⁵N natural (mensurada na planta e solo testemunha)

$$\text{QNPPF(g/microparcela)} = [\% \text{NPPF}/100] \cdot N_p \quad (\text{equação 2})$$

onde:

N_p = N acumulado nas estruturas das plantas ou no solo do vaso em g.

Os dados foram submetidos à análise da variância, utilizando o teste F, e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste Tukey (SAS, 1999).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação entre a fonte de fertilizante e a presença de coletor ($P > 0,05$). As perdas foram diferentes em função da fonte de fertilizante, mas não variaram em decorrência da presença ou ausência de absorvedores (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 – Análise da variância da mensuração de perdas de amônia por volatilização e por emissão foliar pelo método do balanço de ^{15}N na presença ou na ausência de absorvedores de amônia

Fatores	Probabilidade teste F (%)
Presença ou ausência do coletor	27
Fonte de fertilizante	0,03
Interação entre os fatores	49

Coeficiente de variação = 26,55%

As perdas de N-NH_3 , relativas às parcelas que receberam uréia, foram maiores que aquelas adubadas com nitrato de amônio (Tabela 2). A explicação para esse comportamento é que as perdas mensuradas pelo método do balanço de ^{15}N , para os tratamentos com uréia, decorreram dos processos de volatilização e emissão via foliar. Já, para os tratamentos com nitrato de amônio a perda foi somente por emissão via foliar, uma vez que o nitrato de amônio é pouco susceptível às perdas por volatilização. Cantarella et al. (1999) não constataram volatilização de N-NH_3 em solo adubado com nitrato de amônio. Primavesi et al. (2001) encontraram perdas pequenas, de no máximo 1,6% do N aplicado, em pastagem de *Cynodon dactylon* que recebeu nitrato de amônio, enquanto a adubação com uréia teve perdas de até 61,6% do N aplicado. Primavesi et al. 2003, em pastagem de *Brachiaria brizantha*, verificaram que em áreas adubadas com

nitrito de amônio a volatilização não passou de 0,9% do N aplicado, enquanto nas adubadas com uréia, as perdas variaram de 3,3% a 47,3%.

A presença do coletor não afetou a quantificação das perdas de amônia conforme pode ser observado na Tabela 3.2. Enquanto os coletores como os do tipo semi-aberto estático interferem no processo de volatilização de amônia do solo, reduzindo a porcentagem e a quantidade do N-NH_3 volatilizado do fertilizante (LARA CABEZAS; TRIVELIN, 1990), o método do absorvedor com espuma é capaz de determinar as perdas de amônia por volatilização e emissão foliar em condições bastante próximas das naturais. DAMIN (2009) observou que o método do coletor de espuma foi mais eficiente que o por bombeamento em solução de ácido fosfórico para quantificação da emissão de NH_3 .

Tabela 3.2 – Estimativa de perdas de amônia (mg/vaso) pelo método do balanço de ^{15}N , na presença ou ausência do absorvedor com espuma, em vasos com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu adubado com uréia ou nitrito de amônio

Tratamentos	Uréia ²	Nitrito de Amônio	Média
Com absorvedor ¹	82,57 A a	30,78 B a	56,67 a
Sem absorvedor	86,28 A a	46,18 B a	66,23 a
Média	84,42 A	38,48 B	61,45

¹ Médias, dentro de uma mesma coluna, seguidas por letras minúscula distintas diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

² Médias, dentro de uma mesma linha, seguidas por letras maiúsculas distintas diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Coeficiente de variação = 26,65 %

3.4 CONCLUSÃO

A presença da estrutura física de um absorvedor com espuma por vaso, instalado sobre as plantas, não interferiu nas perdas de nitrogênio na forma de amônia.

4 LÂMINAS DE ÁGUA, ADUBAÇÃO COM URÉIA EM SUPERFÍCIE EM PASTAGEM E A VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA

RESUMO

A aplicação de uréia em superfície na pastagem pode ocasionar elevadas perdas de amônia (NH_3) por volatilização e uma das alternativas para minimizar esse efeito é a irrigação ou a ocorrência de chuva logo após a adubação, porém não se sabe ao certo qual o volume de água suficiente para incorporar a uréia ao solo e reduzir a volatilização. Também, faltam dados quantitativos das perdas de N-NH_3 por emissão foliar. Assim, o objetivo dessa pesquisa foi avaliar o efeito da aplicação de lâminas de água, após a adubação com uréia, nas perdas de N por volatilização e emissão foliar da amônia em área de pastagem. Foram realizados três experimentos no verão, inverno e primavera, em área de pastagem de capim Colonião (*Panicum maximum* Jacq. cv. Colonião) adubada com uréia. O delineamento experimental foi em faixas, em sistema de aspersão em linha, com cinco repetições. Os tratamentos foram quatro níveis de irrigação após a aplicação da uréia, sendo três tratamentos com lâminas de água e um controle. Um dos tratamentos com lâmina de água consistia em elevar a umidade do solo à capacidade de campo e os outros dois eram lâminas de água intermediárias aos do controle e capacidade de campo, havendo variação conforme a estação do ano. A uréia foi aplicada em lanço e na superfície do solo na dose de 75 kg/ha de N. No verão, a aplicação de apenas 3,2 mm de água elevou a umidade do solo para 52,4% da capacidade de água disponível e reduziu as perdas de N-NH_3 para menos de 3,1 % do N aplicado, enquanto a ausência de irrigação provocou perdas de 30,5%. No inverno e na primavera a volatilização de N-NH_3 foi baixa, mesmo quando não houve irrigação após a adubação. Na primavera, a irrigação com 16 mm de água elevou a umidade do solo à capacidade de campo e reduziu as perdas para 1,6 % do N aplicado, enquanto que para o controle as perdas foram de 5%. A aplicação ou não de água após a adubação com uréia não influenciou a emissão foliar de N-NH_3 .

Palavras-chave: emissão; NH_3 ; nitrogênio; solo; *Panicum maximum*

ABSTRACT

IRRIGATION LEVELS, SURFACE APPLICATION OF UREA TO PASTURE AND AMMONIA VOLATILIZATION

Surface application of urea fertilizer to pasture may lead to high ammonia (NH_3) losses from volatilization. An alternative to minimize this effect is irrigation or even the occurrence of rain immediately after fertilization; however, the water volume needed to incorporate urea to soil and decrease volatilization is still unknown. There is also a lack of quantitative data concerning NH_3 losses from foliar emission. For that reason, this study aim was to evaluate the effect of irrigation level after urea fertilization on N losses from volatilization and ammonia foliar emission in pasture area. Three experiments were accomplished during different seasons (summer, winter and spring) in *Panicum maximum* Jacq. cv. Colonião pasture. Fertilization occurred by the use of 75 kg/ha N in the form of urea spread over the soil surface. The experimental design was in strip blocks with a line source sprinkler system and five replications. Treatments consisted of irrigation after urea application, three using irrigation levels and one control. One treatment was accomplished in order to increase soil moisture until field capacity; the others consisted of intermediate irrigation levels between control and field capacity with variations according to the season. During summer the application of 3.2 mm water increased soil moisture to 52.4% of available water capacity and decreased N- NH_3 losses to less than 3.1% of applied N, while the absence of irrigation caused losses of 30.5%. During winter and spring N- NH_3 volatilization was low even without irrigation after fertilization. During spring the use of 16 mm water increased soil moisture to field capacity and decreased losses to 1.6% of applied N, while control treatment showed 5% losses. N- NH_3 foliar emission was not influenced by water application after fertilization.

Key words: emission; NH_3 ; nitrogen; *Panicum maximum*; soil

4.1 INTRODUÇÃO

A uréia é o fertilizante nitrogenado mais utilizado no Brasil e no mundo, por apresentar vantagens como maior concentração de N, baixo custo de produção, de transporte e armazenamento comparado aos demais fertilizantes nitrogenados sólidos. No entanto, é considerado o fertilizante que apresenta maior potencial de perda de N-NH_3 por volatilização, principalmente quando aplicado em superfície. As condições climáticas, as características do solo, o manejo de aplicação são alguns dos fatores que se interagem afetando a taxa de volatilização de NH_3 e fazendo com que ela seja tão variável. Se houver adequação do manejo é possível minimizar essas perdas, evitando prejuízos ambientais e econômicos, tornando o uso da uréia tão eficiente como de outras fontes de N. Uma das formas de minimizar a volatilização é a ocorrência de chuva ou irrigação logo após aplicação do fertilizante. A água solubiliza a uréia, incorpora-a ao solo e dificulta as perdas N-NH_3 por volatilização. Por outro lado, a adição de água aumenta a hidrólise da uréia e se não for suficiente para incorporar os produtos da hidrólise ao solo, haverá suprimento de NH_3 próximo à superfície, o que favorece a volatilização.

O volume de água, pela chuva ou irrigação, e o momento da ocorrência afetam as perdas de N-NH_3 por volatilização de maneira considerável e incerta. Assim, o objetivo dessa pesquisa foi avaliar o efeito da aplicação de lâminas de água, após a adubação com uréia, nas perdas de N por volatilização do solo e emissão foliar em pastagem.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

Área Experimental

Os experimentos de campo foram conduzidos em pastagem de *Panicum maximum* Jacq. cv. Colonião, na Fazenda de Ensino e Pesquisa da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, em Ilha Solteira, SP (20° 25' S, 51° 21' W e altitude de 335 m). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, definido como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno, apresentando temperatura média anual de 24,7 °C, precipitação anual de 1.259 mm e umidade relativa do ar média de 62,5% (HERNANDEZ, 2007). Os dados

climáticos foram coletados em estação meteorológica localizada a menos de 100 m da área experimental. Na Figura 4.1 observa-se o extrato do balanço hídrico mensal de Ilha Solteira - SP para o ano de 2008. Nas Figuras 4.2, 4.3 e 4.4 observam-se os extratos do balanço hídrico durante as fases experimentais do verão, outono e inverno respectivamente em Ilha Solteira - SP, no ano de 2008. Na Tabela 4.1, encontram-se os dados de temperatura, precipitação, umidade relativa do ar, radiação líquida, evapotranspiração por Penman_Monteith, velocidade do vento e insolação, nos três períodos experimentais.

Figura 4.1 – Extrato do balanço hídrico mensal em Ilha Solteira – SP em 2008

Figura 4.2 – Extrato do balanço hídrico em Ilha Solteira – SP , de 15/01/08 a 23/01/08

Figura 4.3 – Extrato do balanço hídrico em Ilha Solteira – SP , de 30/06/08 a 08/07/08

Figura 4.4 – Extrato do balanço hídrico em Ilha Solteira – SP , de 15/10/08 a 23/10/08

Tabela 4.1 – Temperaturas máxima e mínima (°C), precipitação (mm), umidade relativa do ar máxima e mínima (%), radiação líquida (MJ/m².dia), evapotranspiração (ET_o - mm), velocidade do vento máxima (m/s) e insolação (h/dia) durante os três períodos experimentais

	Data	Dias após aplicação da uréia	Temperatura °C		Precipitação Mm	Umidade Relativa do ar (%)		Radiação Líquida MJ/m ² .dia	ET _o PN-M mm	Velocidade do Vento (m/s) Máxima	Insolação h/dia
			Máxima	Mínima		Máxima	Mínima				
Verão	10/01/08	0	34,4	23,8	0,0	88,8	39,0	18,9	6,3	4,6	13,4
	11/01/08	1	32,7	22,1	3,3	94,2	50,4	11,5	4,0	4,9	5,5
	12/01/08	2	32,1	21,4	0,3	94,9	51,6	14,0	4,6	4,6	8,4
	13/01/08	3	31,7	20,1	119,6	98,0	54,4	8,1	2,9	4,9	6,2
	14/01/08	4	29,6	22,6	4,1	94,9	63,3	1,0	0,4	5,0	-
	15/01/08	5	28,1	21,7	41,2	97,2	66,0	0,6	0,9	5,8	-
	16/01/08	6	31,7	20,0	17,3	94,6	49,9	12,6	4,3	4,7	12,5
	17/01/08	7	29,3	21,0	10,2	94,4	64,6	8,9	3,0	7,2	1,5
	18/01/08	8	30,3	23,8	3,6	91,0	59,4	8,2	2,8	5,9	0,9
Inverno	30/06/08	0	30,0	14,9	0,0	98,0	33,4	8,3	2,9	3,6	7,9
	01/07/08	1	30,6	18,0	0,0	77,6	22,9	7,8	3,6	5,6	8,0
	02/07/08	2	30,0	15,9	0,0	86,5	27,8	7,4	3,0	4,5	6,2
	03/07/08	3	30,9	15,6	0,0	75,1	21,1	7,2	3,1	4,7	6,0
	04/07/08	4	29,6	13,1	0,0	95,2	25,2	7,7	3,2	4,6	8,0
	05/07/08	5	29,0	12,8	0,0	91,2	20,9	7,5	3,9	4,9	9,0
	06/07/08	6	30,3	14,1	0,0	76,9	31,9	8,3	3,9	5,4	8,9
	07/07/08	7	30,1	16,5	0,0	77,7	27,3	7,6	3,6	5,7	7,3
	08/07/08	8	30,0	15,0	0,0	84,1	25,5	8,5	3,6	6,4	9,6
Primavera	15/10/08	0	39,1	22,4	0,0	80,9	15,3	15,2	6,1	4,9	12,5
	16/10/08	1	40,0	22,5	0,0	80,8	12,7	14,4	6,0	7,0	12,4
	17/10/08	2	37,2	23,1	0,3	83,8	30,4	14,4	5,5	7,9	11,9
	18/10/08	3	25,0	21,1	8,9	93,7	74,3	2,8	1,4	8,8	-
	19/10/08	4	28,7	21,3	0,3	93,6	60,6	6,9	2,4	4,3	2,3
	20/10/08	5	32,1	20,3	0,3	90,3	45,7	11,7	4,1	5,8	7,4
	21/10/08	6	27,8	21,0	19,3	94,0	59,8	6,3	2,7	10,5	1,6
	22/10/08	7	29,8	20,5	0,0	89,7	54,4	10,9	3,7	5,9	7,0
	23/10/08	8	33,9	22,0	0,0	87,2	32,3	15,5	5,3	5,4	11,9

ET_o_PN-M = Evapotranspiração por Penman_Monteith

As características químicas e físicas do solo classificado como Podzólico Vermelho Escuro, eutrófico, textura arenosa (IPT citado por CARVALHO e MELLO, 1989) são apresentadas na Tabela 4.2 e 4.3, respectivamente.

Tabela 4.2 – Análise química do solo

Profundidade	pH	MO	P	S	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	SB	V	m	B	Cu	Fe	Mn	Zn
cm	CaCl ₂	g/dm ³	mg/dm ³										%					
0-10	5,5	25	17,5	6,8	2,2	17	10	20	TR	49	29	59	TR	0,15	1,7	33	145,6	1,2
10-20	5,3	24	14,8	7,5	1,9	16	8	20	TR	46	25	56	TR	0,21	1,9	37	152,9	1,1

MO = matéria orgânica; CTC = capacidade de troca de cátions; SB = soma de bases; V = saturação por bases; m = saturação por alumínio

Tabela 4.3 – Análise física do solo

Profundidade	Areia	Argila	Silte
cm		g/kg	
0-10	856,5	59,0	84,5
10-20	865,1	56,5	78,4

Os valores do conteúdo de água no solo quando em capacidade de campo (CC) e em ponto de murcha permanente (PMP) foram obtidos das curvas características de retenção da água no solo, realizado para a área experimental, do trabalho Alves Júnior (1999) (Tabela 4.4.). Considerou-se o ponto de murcha permanente o teor de água retida no solo sob tensão de 15 atm e como capacidade de campo, o retido a 0,1 atm, por ser um solo de textura arenosa. A capacidade de água disponível no solo, que representa a lâmina de água armazenada no perfil do solo explorado pelas raízes, era de 27 mm e foi determinada conforme equação 1.

$$CAD = (\Theta_{cc} - \Theta_{pmp}) \cdot Z \quad (\text{equação 1})$$

onde: CAD = capacidade de água disponível no solo (mm);

Θ_{cc} = umidade na capacidade de campo (cm³/cm³);

Θ_{pmp} = umidade no ponto de murcha permanente (cm³/cm³);

Z = profundidade efetiva do sistema radicular (mm).

A profundidade de exploração das raízes adotada foi 200 mm. A CAD no início do experimento, antes da irrigação, e a % da CAD foram obtidas pelas equações 2 e 3.

$$CADi = (\Theta_i - \Theta_{pmp}) \cdot Z \quad (\text{equação 2})$$

$$\% CAD = (CADi / CAD) \cdot 100 \quad (\text{equação 3})$$

Onde: CADi = capacidade de água disponível no solo no início do experimento (mm);

Θ_i = umidade no início do experimento, antes da irrigação (cm^3/cm^3);

Θ_{pmp} = umidade no ponto de murcha permanente (cm^3/cm^3);

Z = profundidade efetiva do sistema radicular (mm).

A % da CAD, no decorrer do experimento foi calculada considerando a CAD no início e as entradas e saídas diárias de água (irrigação, precipitação e evapotranspiração).

Tabela 4.4 – Curva característica de retenção de água no solo e densidade aparente

Profundidade cm	Umidade Volumétrica (%)							DA* g/dm ³
	0,01 atm	0,05 atm	0,10 atm	0,33 atm	1,00 atm	5,00 atm	15,00 atm	
20	36,50	27,81	22,46	18,65	16,66	13,03	8,92	1,57
30	35,03	25,34	16,00	13,25	11,05	8,27	7,76	1,57
70	34,67	26,20	20,70	15,78	13,94	12,48	11,85	1,66

DA = densidade aparente

Delineamento experimental

Durante os meses de janeiro (verão), julho (inverno) e outubro (primavera) de 2008 foram realizados três experimentos. O delineamento experimental foi em faixas, em sistema de aspersão em linha, com cinco repetições. Este sistema permite a aplicação de lâminas de água na direção transversal à linha de aspersores (HANKS et al., 1976). Os tratamentos foram quatro níveis de irrigação após a aplicação da uréia, que variaram da capacidade de campo (CC) à ausência de

irrigação (SI) (Tabela 4.5 e Figura 4.5). As duas lâminas intermediárias (L1 e L2) foram determinadas em relação à lâmina mais próxima da linha dos aspersores, onde a umidade do solo foi reposta para atingir a capacidade de campo.

Tabela 4.5 – Lâminas de água e umidade do solo em relação à capacidade de água disponível (CAD) nos três experimentos

	Verão		Inverno		Primavera	
	10/01/08 a 18/01/08		01/07/08 a 19/07/08		16/10/08 a 02/11/08	
	Lâmina (mm)	CAD (%)	Lâmina (mm)	CAD (%)	Lâmina (mm)	CAD (%)
SI	0	40	0	27	0	37
L1	3	52	6	49	5	56
L2	10	76	10	64	9	69
CC	16	100	20	100	17	100

CC = Capacidade de campo

Figura 4.5 – Disposição das parcelas e tratamentos experimentais

O sistema de irrigação era composto por tubulações de 2 polegadas de diâmetro e engate rápido e de dois aspersores da marca Agropolo, modelo NY 30° de uma polegada, dispostos no campo com espaçamento de 12 m e em linha. Realizou-se um teste, para determinação da lâmina d'água aplicada por unidade de tempo, utilizando coletores pluviométricos dispostos em linha perpendicular à linha de aspersão. Foram utilizadas duas linhas equidistantes com 20 coletores cada, com distância de 1 m entre eles (Figura 4.6). O primeiro coletor de cada linha foi colocado a 0,5 m da linha de aspersores.

Figura 4.6 – Teste de aspersão para determinar o volume de água aplicado por unidade de tempo em cada parcela experimental.

O experimento ocupou a área aproximada de 240 m² com dimensões de 12x20 m e era composto de 20 parcelas de 1 m². A fim de verificar o efeito da aplicação de lâminas de água na volatilização e emissão de N-NH₃, realizou-se corte de uniformização da pastagem a 30 cm de altura e aplicou-se, a lanço manualmente, dose equivalente a 75 kg/ha de N, na forma de uréia e em seguida a área foi irrigada de acordo com os tratamentos. O cálculo da necessidade de irrigação, para elevar a

umidade do solo à capacidade de campo no tratamento CC, foi feito levando em consideração a curva de retenção de água, a umidade do solo e o teste de aspersão. Foram retiradas amostras representativas da camada de 0-10 e 10-20 cm do solo para a determinação da umidade por pesagem das amostras antes e após a secagem em estufa à temperatura de 105 a 110°C por 24 h.

Quantificação da volatilização

A amônia volatilizada foi quantificada utilizando-se absorvedores com espuma (ALVES, 2006) que não interferem no processo de volatilização e ainda podem ser ajustados acima do dossel, captando também a amônia emitida pela folhagem. Eles apresentavam dimensão de 10 x 10 cm e eram constituídos por espuma embebida em solução de ácido fosfórico (0,5 N) e glicerina, colocada sob placa de PVC e envolvida com fita de politetrafluoretileno (veda rosca). Após a adubação nitrogenada e irrigação da pastagem, os absorvedores foram ajustados, a 1 cm do solo e a 1 cm do dossel, captando dessa forma o N-NH_3 volatilizado do solo e da folhagem (Figuras 4.7, 4.8, 4.9 e 4.10). No experimento realizado em janeiro os absorvedores foram trocados a cada dois dias, durante apenas oito dias, devido a alta pluviosidade ocorrida (199,6 mm). Nos outros dois experimentos (julho e outubro) os absorvedores foram trocados a cada dia, durante a primeira semana, e depois a cada dois dias, o período experimental foi de 18 e 19 dias respectivamente. Para melhor comparação das épocas considerou-se quatro amostragens em cada período experimental (2, 4, 6 e 8 dias após a aplicação da uréia). O teor de N dos absorvedores foi determinado pelo método macro-Kjeldahl (AOAC, 1990), após lavagem das espumas com água destilada e deionizada.

Figura 4.7 – Área adubada com uréia

Figura 4.8 – Irrigação após aplicação da uréia

Figura 4.9 – Absorvedores de amônia a 1 cm do solo

Figura 4.10 – Absorvedores de amônia a 1 cm das folhas superiores do dossel

Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise da variância e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. A análise estatística foi realizada utilizando-se os recursos do software estatístico SAS (SAS, 1999).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Volatilização de amônia do solo

A volatilização de N-NH_3 do solo iniciou-se logo após a aplicação da uréia e a sua máxima expressão ocorreu entre o primeiro e o sexto dia. Como observado em outros estudos, essas perdas concentram-se nos primeiros seis dias após a aplicação do fertilizante (ALVES, 2006; COSTA; VITTI; CANTARELLA, 2003; LARA CABEZAS; TRIVELIN, 1990).

No verão, a maior perda de N-NH_3 por volatilização aconteceu para o tratamento controle, sem irrigação (SI), dois dias após a aplicação da uréia. E foi seguida de uma drástica redução na taxa de volatilização, em decorrência de uma chuva de 120 mm que aconteceu três dias após aplicação do fertilizante. Na Figura 4.11, pode-se observar a distribuição das perdas ao longo dos dias, a variação na capacidade de água disponível no solo e as entradas de água no sistema pela irrigação ou chuva, no decorrer dos dias. Em média, a volatilização de N-NH_3 acumulada para o tratamento SI, nos oito dias de avaliação, foi de 22,9 kg/ha, o que corresponde a 30,5% do N aplicado. Já nos tratamentos irrigados após a aplicação da uréia, as perdas foram baixas e constantes ao longo dos dias. Entre os tratamentos irrigados as perdas variaram de 3,1 a 0,8% do N aplicado, não diferindo entre si ($p>0,05$) (Tabela 4.6). Perdas de 44% do N aplicado foram encontradas por Martha Júnior (2004) em condições de elevada umidade do solo, ausência de chuvas durante o primeiro dia depois da adubação e temperaturas elevadas.

A volatilização de N-NH_3 nas parcelas SI foi maior comparada àquelas irrigadas, o que já era esperado, pois a volatilização é reduzida quando ocorre chuva ou irrigação logo após a aplicação da uréia, e quanto menor o tempo entre a aplicação e o molhamento do solo, menor será a volatilização (BLACK; SHERLOCK;

SMITH, 1987). Porém, a diferença na quantidade de N-NH_3 volatilizado para SI foi grande comparada aos demais tratamentos, o que indica que neste caso, a irrigação com apenas 3,2 mm de água (L1), elevou a umidade do solo para 52,4% da CAD e foi suficiente para incorporar a uréia no solo reduzindo as perdas. Essa diferença entre os tratamentos irrigados e o não irrigado também pode ser em parte explicada pela chuva de 3,3 mm que ocorreu no dia seguinte a aplicação da uréia. Foi como um atraso na aplicação de água no tratamento SI, o que causa aumento na volatilização (BLACK; SHERLOCK; SMITH, 1987) e ainda contribuiu para que a quantidade de água no solo, neste tratamento, fosse mantida por volta dos 16 % nos dois primeiros dias, enquanto nos tratamentos irrigados a CAD ficou acima de 27% (Figura 4.11). Segundo Bremner; Mulvaney (1978) citado por CANTARELLA, 2006 a taxa de hidrólise aumenta conforme o teor de umidade do solo se eleva, até que este atinja 20%, a partir desse ponto a hidrólise é pouco afetada pelo teor de água.

É importante observar que, devido às chuvas que ocorreram do terceiro ao oitavo dia de avaliação, o solo permaneceu na capacidade de campo em todos os tratamentos. Essa elevada umidade do solo pode levar a outras perdas como a desnitrificação.

Figura 4.11 – Volatilização de N-NH₃ (kg/ha/dia), quantidade de água disponível no solo (% da CAD), precipitação (mm) e irrigação (mm), no verão

Tabela 4.6 – Volatilização de N-NH₃ diária (kg/ha/dia) e porcentagem de perda de N, em relação às lâminas de água aplicada no solo após a adubação com uréia, no verão

Dias após aplicação da uréia	Tratamentos			
	CC	L2	L1	SI
Volatilização Diária (Kg/ha/dia)				
2	0,51 a B	0,78 a B	2,11 a B	21,56 a A
4	0,10 a A	0,05 a A	0,20 a A	1,53 b A
6	0,07 a A	0,03 a A	0,06 a A	0,31 b A
8	0,06 a A	0,44 a A	0,08 a A	0,13 b A
Valor F interação	**			
CV (%)	116,514			
Volatilização Acumulada (% do N aplicado)				
2	0,69	1,05	2,81	28,75
4	0,82	1,11	3,08	30,78
6	0,91	1,15	3,16	31,19
8	0,99	1,73	3,26	31,36
média	0,85 B	1,26 B	3,08 B	30,52 A
Valor F tratamentos	**			
CV (%)	61,15			

Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si a 5 % pelo teste Tukey. CV = Coeficiente de variação. ** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F. CC = irrigação com 16,1 mm e umidade do solo na capacidade de campo; L2 = irrigação com 9,7 mm e solo com 76% da CAD; L1 = irrigação com 3,2 mm e solo com 52% da CAD; SI = sem irrigação e solo com 40% da CAD.

No inverno, as taxas de volatilização foram baixas para todos os tratamentos (Figura 4.12). A porcentagem de N volatilizado em relação à quantidade de N aplicado variou de 1,6 a 2,5%, não havendo diferença entre os tratamentos (Tabela 4.7). Para a volatilização diária, a irrigação com 10 mm (L2), após a aplicação da uréia, reduziu as perdas para 0,35 kg/ha/dia comparado ao tratamento SI que apresentou perda de 0,73 kg/ha/dia. As baixas perdas no inverno são explicadas pelas condições climáticas, como temperatura mais amena e o longo período sem chuva, que fez com que o solo estivesse bem seco. A média da temperatura máxima foi de 30,0°C e da mínima 15,1°C. A precipitação total, nos meses de junho e julho, foi de apenas 3,8 mm e a evapotranspiração média de 3,4 mm/dia. No tratamento que não recebeu irrigação, alguns grânulos de uréia ainda podiam ser vistos próximo aos coletores após 17 dias do início do experimento, o que explica as baixas perdas

ocorridas também nesse tratamento. Duarte et al. (2007) também observaram ausência de volatilização de N quando a uréia foi aplicada em solo seco, isso ocorre porque a umidade do solo não é suficiente para solubilizar a uréia e promover o seu contato com a urease do solo, interrompendo a formação de produtos que causam volatilização. A falta de umidade no solo pode prejudicar o desenvolvimento da planta e a absorção de N, uma vez que esse nutriente é absorvido por fluxo de massa.

Figura 4.12 – Volatilização de N-NH₃ (kg/ha/dia), quantidade de água disponível no solo (% da CAD), precipitação (mm) e irrigação (mm), no inverno

Tabela 4.7 – Volatilização de N-NH₃ diária (kg/ha/dia) e acumulada (kg/ha) e porcentagem de perda de N, em relação à quantidade de água aplicada no solo após a adubação com uréia no inverno

Dias após aplicação da uréia	Tratamentos			
	CC	L2	L1	SI
Volatilização Diária (Kg/ha/dia)				
2	0,77	0,75	1,15	0,75
4	0,32	0,53	0,53	0,81
6	0,28	0,39	0,39	0,74
8	0,16	0,33	0,33	0,63
média	0,38 AB	0,35 B	0,60 AB	0,73 A
Valor F tratamentos	*			
C.V. (%)	45,32			
Volatilização Acumulada (% do N aplicado)				
2	1,03	1,01	1,53	0,99
4	1,45	1,72	2,24	2,07
6	1,82	2,23	2,75	3,06
8	2,03	2,67	3,19	3,90
média	1,58 A	1,90 A	2,43 A	2,51 A
Valor F tratamentos	*			
C.V. (%)	53,00			

Médias seguidas por letras iguais, maiúscula na horizontal, não diferem entre si a 5 % pelo teste Tukey. CV = Coeficiente de variação. * Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F. CC = irrigação com 20 mm e umidade do solo na capacidade de campo; L2 = irrigação com 10 mm e solo com 64% da CAD; L1 = irrigação com 6 mm e solo com 49% da CAD; SI = sem irrigação e solo com 27% da CAD.

Na primavera, somente a irrigação do solo com 17 mm (CC) de água reduziu as perdas em relação ao tratamento SI. A perda acumulada de N-NH₃ caiu de 4,88% para 1,46% do N aplicado. Porém, mesmo para o tratamento SI as perdas foram baixas comparadas as que geralmente ocorrem em pastagens adubadas com uréia em superfície (Tabela 4.8). Martha Júnior et al. (2004) encontraram em pastagem de *Panicum maximum* adubada com 80 kg/ha de N, perdas de 41% do N aplicado. Primavesi et al. (2001) em pastagem de *Cynodon dactylon* observaram perdas de 27-30% e Primavesi et al. (2003) relataram perdas de 23% do N aplicado em pastagem de *Brachiaria brizantha*, ambas adubadas com 100 kg/ha de N. A baixa perda para o tratamento SI na primavera, pode ser devido ao rápido secamento do solo (Figura 4.13).

Figura 4.13 – Volatilização de NH₃ (kg/ha/dia), quantidade de água disponível no solo (% da CAD) e precipitação (mm) e irrigação (mm), na primavera

No dia seguinte à aplicação da uréia, para o tratamento sem irrigação, não havia mais água disponível no solo, o que fez com que a volatilização fosse baixa. No terceiro dia após a aplicação da uréia ocorreu uma chuva de 8,9 mm que elevou a CAD, favorecendo novamente a volatilização. Na avaliação feita no quarto dia após a aplicação da uréia, pode-se observar que houve o pico de volatilização no tratamento SI, com perdas 3,11 kg/ha/dia (Figura 4.13 e Tabela 4.8). Kissel et al. (2004) observaram que a simulação de uma chuva de 24 mm, sete dias após a aplicação da uréia, não interrompeu as perdas por volatilização, mas as intensificou. Já quando a simulação foi feita imediatamente após a aplicação da uréia, as perdas foram reduzidas para 1% do aplicado.

Tabela 4.8 – Volatilização de NH₃ diária (kg/ha/dia) e acumulada (kg/ha) e porcentagem de perda de N, em relação à quantidade de água aplicada após adubação com uréia, na primavera

aplicada após aplicação com ureia, na primavera				
Dias após aplicação da ureia	Tratamentos			
	CC	L2	L1	SI
Volatilização Diária (Kg/ha/dia)				
2	0,71a A	1,98a A	1,33a A	0,43b A
4	0,18a B	0,60ab B	0,59a B	3,11a A
6	0,32a A	0,26b A	0,37a A	1,41b A
8	0,37a A	0,14b A	0,25a A	0,79b A
Média	0,39B	0,74AB	0,64AB	1,43A
Valor F tratamentos	*			
C.V. (%)	42,35			
Volatilização Acumulada (% do N aplicado)				
2	0,95	2,65	1,77	0,57
4	1,19	3,44	2,55	4,72
6	1,61	3,79	3,05	6,59
8	2,11	3,97	3,39	7,64
Média	1,46 B	3,46 AB	2,69 AB	4,88 A
Valor F tratamentos	**			
CV (%)	58,62			

Médias seguidas por letras iguais, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si a 5 % pelo teste Tukey. CC = irrigação com 17 mm e umidade do solo na capacidade de campo; L2 = irrigação com 9 mm e solo com 69% da CAD; L1 = irrigação com 5mm e solo com 56% da CAD; SI = sem irrigação e solo com 37% da CAD.

A volatilização para os tratamentos com irrigação não variou nas épocas do ano, sendo baixa no verão, inverno e na primavera (Figura 4.14). Para esses tratamentos, oito dias após a adubação com uréia, as perdas não passaram de 3,97 % do N aplicado. Com esse comportamento, permite-se concluir que a irrigação logo após a adubação, nas diferentes épocas, é eficiente para minimizar as perdas por volatilização, pela melhor incorporação da uréia ao solo, movendo a amônia para as camadas mais profundas, onde o processo de volatilização de N-NH_3 é reduzido (Rodrigues; Kiehl, 1986). Já no tratamento SI, as perdas de N-NH_3 variaram nas épocas do ano. No verão, a volatilização foi maior comparada ao mesmo tratamento no inverno e primavera (Figura 4.14).

Figura 4.14 – Volatilização de N-NH_3 (kg/ha/dia) em relação à quantidade de água aplicada no solo após a adubação com uréia, no verão, inverno e primavera

No inverno, já se esperava que a volatilização fosse baixa devido às condições menos favoráveis à volatilização. Porém, no verão e primavera as condições climáticas e a umidade na camada de 0-20 cm do solo, no início do experimento, foram semelhantes, portanto não era esperado que a volatilização, nessas duas épocas, fosse tão diferente nos dois primeiros dias após a aplicação da uréia (Figuras 4.11 e 4.13). No entanto, isso ocorreu devido às diferentes condições ambientais nos dois dias após a aplicação da uréia.

No verão, a média da temperatura máxima nos dois primeiros dias foi 33,6°C e da temperatura mínima 23,0°C, a quantidade de água no solo na camada de 0-20

cm no início do experimento era de 11,0 mm. A média da evapotranspiração por Penman_Monteith, nos dois primeiros dias, foi de 5,2 mm/dia e ocorreu uma chuva de 3,3 mm no dia seguinte à aplicação da uréia. Já na primavera, não choveu nos dois primeiros dias de experimento, a média da temperatura máxima e mínima nos dois primeiros dias foi de 39,6 e 22,5°C. No início do experimento, havia na camada de 0-20 cm do solo 10,1 mm de água e a evapotranspiração por Penman_Monteith nos dois primeiros dias foi de 6,0 mm/dia. Observando-se esses dados, era esperado que a alta temperatura e a elevada evapotranspiração ocorrida na primavera, favorecessem a volatilização, ao invés disso inibiram as perdas.

No verão, o volume de água no solo variou menos nos dois dias seguintes à aplicação da uréia comparada à primavera, isso se deve a menor evapotranspiração e a entrada de água no sistema pela chuva de 3,3 mm que ocorreu no dia seguinte a aplicação da uréia. Na primavera, a alta temperatura e a maior evapotranspiração fez com que o volume de água disponível no solo diminuísse rapidamente (Figura 4.13), o que inibiu as perdas por volatilização. Em solo seco, a uréia pode permanecer estável (CANTARELLA, 2007; VOLK, 1966) e quando ocorre a rápida secagem do solo, a taxa de perda de N-NH_3 é diminuída (FERGUSON; KISSEL, 1996), devido a atividade da urease depender da umidade do solo (Figura 4.12 e 4.13).

Emissão de amônia pela planta

A amônia captada acima do dossel corresponde ao N-NH_3 emitido pela planta, no entanto uma pequena parte do N-NH_3 volatilizado do solo, chega aos absorvedores colocados acima do dossel. Isso pode ser notado na comparação entre a quantidade de N-NH_3 emitida pela planta (captado acima do dossel) e o volatilizado (captado acima do solo). Verifica-se que no segundo dia, quando ocorreu o pico de volatilização, houve aumento na taxa de emissão (Figura 4.15). Os dados utilizados para comparar a quantidade de amônia volatilizada do solo e emitida pela planta são de 4 avaliações durante 8 dias no verão; 9 avaliações durante 18 dias no inverno; e 9 avaliações durante 19 dias na primavera.

No verão, a emissão diária e acumulada de N-NH_3 pela planta não diferiu entre os tratamentos, apesar da volatilização de N-NH_3 do solo ter sido maior no tratamento sem irrigação (Tabela 4.9). É importante ressaltar que a chuva de 120

mm que ocorreu no terceiro dia após a aplicação da uréia, reduziu a taxa de volatilização. Nos tratamentos irrigados a quantidade de N-NH_3 emitida e volatilizada foi igual, entretanto no tratamento SI a quantidade de NH_3 emitida foi aproximadamente 10 vezes menor que a volatilizada (Tabela 4.9).

Tabela 4.9 – Taxa de volatilização e emissão de N-NH_3 (kg/ha/dia) e volatilização e emissão acumulada (% do N aplicado) em relação à lâmina de água aplicada após adubação com uréia, no verão

	CC	L2	L1	SI
Diária (kg/ha/dia)				
Volatilização do solo	0,1849 a B	0,3251 a B	0,4393 a B	5,8806 a A
Emissão pela planta	0,1676 a A	0,1825 a A	0,2906 a A	0,6526 b A
Acumulada (% do N aplicado)				
Volatilização do solo	0,850 a B	1,219 a B	3,078 a B	30,520 a A
Emissão pela planta	0,703 a A	0,790 a A	1,308 a A	3,298 b A

Médias seguidas por letras iguais, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si a 5 % pelo teste Tukey. CC = irrigação com 16,1 mm e umidade do solo na capacidade de campo; L2 = irrigação com 9,7 mm e solo com 76% da CAD; L1 = irrigação com 3,2 mm e solo com 52% da CAD; SI = sem irrigação e solo com 40% da CAD. Coeficiente de variação = 73.98%.

Figura 4.15 – Quantidade de N-NH_3 emitida e volatilizada (kg/ha/dia), no verão

No inverno, apesar da volatilização pelo solo ter sido maior para os tratamentos L1 e SI (Kg/ha/dia), o N-NH_3 captado acima do dossel não diferiu entre os tratamentos. Para os tratamentos CC, L1 e SI a emissão foi menor que a volatilização, enquanto para o tratamento L2 foi igual (Tabela 4.10).

Tabela 4.10 – Taxa de volatilização e emissão de N-NH₃ (kg/ha/dia) e volatilização e emissão acumuladas (% do N aplicado) em relação à lâmina de água aplicada após adubação com uréia, no inverno

	CC	L2	L1	SI
Diária (Kg/ha/dia)				
Volatilização do solo	2,100 a B	1,970 a B	3,220 a A	3,663 a A
Emissão pela planta	1,201 b A	1,495 a A	1,520 b A	1,560 b A
Acumulada (% do N aplicado)				
Volatilização do solo	2,800 a B	2,627 a B	4,293 a A	4,886 a A
Emissão pela planta	1,602 b A	1,992 a A	2,027 b A	2,080 b A

Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si a 5 % pelo teste Tukey. CC = irrigação com 20 mm e umidade do solo na capacidade de campo; L2 = irrigação com 10 mm e solo com 64% da CAD; L1 = irrigação com 6mm e solo com 49% da CAD; SI = sem irrigação e solo com 27% da CAD. Coeficiente de variação = 47,14%.

Na primavera, a emissão diária e acumulada de N-NH₃ pela folhagem não diferiu entre os tratamentos (Tabela 4.11). As taxas de volatilização de N-NH₃ do solo foram iguais às taxas de emissão foliar (kg/ha/dia) para os tratamentos irrigados, enquanto no tratamento SI a emissão foi menor (Tabela 4.11). Já para as perdas acumuladas (% do N aplicado), o tratamento CC apresentou igual perda por emissão e volatilização, enquanto nos demais tratamentos a volatilização foi maior que a emissão.

Tabela 4.11 – Taxa de volatilização e emissão de N-NH₃ (kg/ha/dia) e volatilização e emissão acumulada (% do N aplicado) em relação à lâmina de água aplicada após adubação com uréia, na primavera

	CC	L2	L1	SI
Diária (kg/ha/dia)				
Volatilização do solo	0,264 a B	0,441 a B	0,389 a B	0,754 a A
Emissão pela planta	0,228 a A	0,263 a A	0,239 a A	0,247 b A
Acumulada (% do N aplicado)				
Volatilização do solo	2,687 a C	5,463 a B	4,524 a B	7,882 a A
Emissão pela planta	2.060 a A	2,374 b A	2,257 b A	2,341 b A

Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si a 5 % pelo teste Tukey. CC = irrigação com 17 mm e umidade do solo na capacidade de campo; L2 = irrigação com 9 mm e solo com 69% da CAD; L1 = irrigação com 5mm e solo com 56% da CAD; SI = sem irrigação e solo com 37% da CAD. CV = 35,56.

4.4 CONCLUSÃO

A aplicação de água imediatamente após a adubação com uréia é eficiente para reduzir as perdas de N-NH_3 por volatilização. No verão, a aplicação de apenas 3,2 mm de água reduziu as perdas de N-NH_3 para menos de 3,1 % do N aplicado, enquanto na ausência de irrigação ocorreram perdas de 30,5%.

A taxa de volatilização é influenciada pela quantidade de água disponível no solo nos dias seguintes à aplicação da uréia. As perdas de N-NH_3 por volatilização são baixas, quando a uréia é aplicada em solo seco ou quando o solo seca rapidamente, mesmo que a temperatura seja elevada. No inverno e na primavera, os tratamentos que não receberam irrigação, tiveram baixas perdas por volatilização de N-NH_3 , 2,5 e 4,9% do N aplicado respectivamente. A quantidade de água disponível no solo, no dia seguinte a adubação era baixa, 2,5 % da CAD no inverno e 0,0% da CAD na primavera. No verão, as perdas N-NH_3 por volatilização foram altas quando o solo não foi irrigado após a aplicação da uréia e apresentou, no dia seguinte à adubação, por volta de 15% da CAD.

A aplicação ou não de água, após a adubação com uréia, não influenciou a emissão foliar de N-NH_3 .

REFERÊNCIAS

- ALVES JÚNIOR, J; HERNANDEZ, F.B.T.; BUZETTI, S. **Efeitos do parcelamento da fertirrigação na cultura de pupunha (*Baactris gasipaes* H.B.K.) no noroeste paulista**. Ilha Solteira, 2001. 82p. Relatório.
- ALVES, A. C. **Métodos para quantificar volatilização de N-NH₃ em solo fertilizado com uréia**. 2006. 41 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2006.
- ASMAN, W.A.H.; SUTTON, M.A.; SCHJORRING, J.K. Ammonia: emission, atmospheric transport and deposition. **New Phytologist**. v.139. n.1, p.27– 48, jul. 2008
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 15.ed. Arlington:AOAC, 1990. 1117p.
- BLACK, A.S.; SHERLOCK, R.R.; SMITH, N.P. Effect of timing of simulated rainfall on ammonia volatilization from urea, applied to soil of varying moisture content. **European Journal of Soil Science**, v.38, n.4, p. 679 – 687, 1987.
- BOUWMEESTER, R.J.B.; VLEK, P.L.G.; STUMPE, J.M. Effect of environmental factors on ammonia volatilization from a urea-fertilized soil. **Soil Science Society of America Journal**, v.49, p.376-381, 1985.
- CANTARELLA, H.; MARCELINO, R. Uso de inibidor de urease para aumentar a eficiência da uréia. In: SIMPÓSIO SOBRE INFORMAÇÕES RECENTES PARA OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA, 1., 2006. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba:INPI, 2006.
- CANTARELLA, H. et al. 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 STAB, 7., Londrina, 1999. **Anais...** Alcool Subpr., Londrina, 1999. p.82-87.
- CARVALHO, M.P.; MELLO, L.M.M. **Classificação da capacidade de uso da terra do antigo pomar da Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - FEIS/UNESP**. Ilha Solteira: UNESP/FEIS, 1989. 46 p.

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**. v.54, p.263–266. 1990.

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.

COSTA, M.B.B.; VITTI, G.C.; CANTARELLA, H. Volatilização de N-NH₃ de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.27, n.4, p.631-637, 2003.

DAMIN, V. **Transformações do nitrogênio no sistema solo-planta após aplicação de herbicidas**. 2009. 130p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2999.

DENMEAD, O T. Micrometeorological methods for measuring gaseous losses of nitrogen in the field. In: FRENEY, J. R.; SIMPSON, J. R. **Gaseous loss of nitrogen from plant-soil systems**. Hague:Martinus Nijhoff, 1983. v.9, p.133-157, 1983.

DUARTE, F. M. et al. Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia com aplicação de uréia em solo de várzea com diferentes níveis de umidade, **Ciência Rural**, Santa Maria, vol.37, n.3. p. 705-711, 2007.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo (Rio de Janeiro). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília:Embrapa SPI/Embrapa CNPS, 1999. 412 p.

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**, v.24, n.1, p.87-90, 1960.

FERGUSON, R.B.; KISSEL, D.E. Effects of soil drying on ammonia volatilization from surface-applied urea. **Soil Science Society of America Journal**. v.50. p.485-490. 1996.

FOWLER, D. et al. Agricultural chemical and the environment. In: Hester, Ronald E(Editor). **Agricultural Chemicals and the Environment**.Cambridge, GBR: The Royal Society of Chemistry, 1996. p 57.

FRANCO, H.C.J. et al. Perda de nitrogênio pela *Brachiaria decumbens* após a antese: relação com a umidade do solo. **Ciência Rural**. 2008, v.38, n.1, p.96-102.

HANKS, R.J. et al. Line source sprinkler for continuous variable irrigation-crop production studies. **Soil Science Society of American Journal**, v.40, p.426-429, 1976.

HERNANDEZ, F.B.T. **Análise agroclimática da área de influência do Reservatório da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, região noroeste do Estado de São Paulo**. Ilha Solteira: UNESP, FEPIA e SEAP/PR (Convênio 80/2005), 2007, 27p.

INSTITUTO DA POTASSA & FOSFATO. **Manual Internacional de Fertilidade do Solo**. 2.ed., rev. e aum., Piracicaba:POTAFOS, 1998. p.37-51.

KISSEL, D.E et al. Rainfall Timing and Ammonia Loss from Urea in a Loblolly Pine Plantation. **Soil Science Society of American Journal**. V.68, p.1744-1750. 2004.

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 Ciências do Solo**, Campinas, v.14, p.345-352, 1990.

LARA CABEZAS, W.A.R. et al. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluída de cobertura na cultura de milho, em sistema de plantio direto no triângulo mineiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.363-376, 2000.

LONGO, M. R.; MELO, W.J. Atividade da urease em latossolos sob Influência da cobertura vegetal e da época de amostragem. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.29, p.645-650, 2005.

MARTHA JÚNIOR, G.B. **Balanço de ¹⁵N e perdas de amônia por volatilização em pastagem de capim-elefante**. 1999. 75p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

MARTHA JÚNIOR, G.B. et al. Efeito da intensidade de desfolha na produção de forragem do capim Tanzânia irrigado na primavera e no verão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, p.927-936, 2004.

MARTHA JÚNIOR, G. B.; TRIVELIN, P.C.O; CORSI, M. Absorção foliar pelo capim-Tanzânia da amônia volatilizada do ^{15}N -uréia aplicado ao solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v.33, p.103-108, 2009.

MIKKELSEN, R.; HARTZ, T.K. Nitrogen Sources for Organic Crop Production. **Better Crops**. v.92. n.4, 2008.

OLIVEIRA, P.P.A.; TRIVELIN, P.C.O; OLIVEIRA, W.S. Balanço do nitrogênio (^{15}N) da uréia nos componentes de uma pastagem de capim-marandu sob recuperação em diferentes épocas de calagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, n.6, p.1982-1989, 2007.

PENMAN_MONTEITH. **FAO Penman-Monteith equation**. Disponível: <<http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e06.htm>>. Acesso em: fev/2009.

PRIMAVESI, O. et al. **Adubação com uréia em pastagem de *Cynodon dactylon* cv. Coastcross sob manejo rotacionado**: eficiência e perdas. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2001. 42p. Circular Técnica, 30.

PRIMAVESI, O. et al. **Adubação com uréia em pastagem de *Brachiaria brizantha* sob manejo rotacionado**: Eficiência e perdas. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2003. 6p. Comunicado Técnico, 41.

REYNOLDS, C. M.; WOLF, D. C. Effect of Soil Moisture and Air Relative Humidity on Ammonia Volatilization From Surface-Applied Urea. **Soil Science**, v.143. n.2.1987.

RODRIGUES, M.B.; KIEHL, J.C. Volatilização de amônia após o emprego de uréia em diferentes doses e modos de aplicação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.10, n.1, p.37-43, 1986.

SANGOI, L et al. Volatilização de N-NH_3 em decorrência da forma de aplicação de uréia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório. **Ciência Rural**, v.33, p.87-692, 2003.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM - SAS. **User's Guide: Statistics**. Cary, NC:SAS Institute. 1999.

SAVANT, N.K.; JAMES, A.F.; McCLEAN, 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**, v.11, p231-234, 1987.

SCHJORRING, J. K.; HUSTED, S.; MATTSSON, M. Physiological parameters controlling plant-atmosphere ammonia exchange. **Atmospheric Environment**. v.32. n. 3, p.491-498.1998.

SOMMER, S.G.; JENSEN, E.S.; SCHJORRING, J.K. Leaf absorption of atmospheric ammonia emitted from pig slurry applied beneath the canopy of winter wheat. **Acta Agriculturae Scandinavica**, v.43, p.21-24, 1993.

THOMPSON, R.B.; PAIN, B.F.; REES, Y.J. Ammonia volatilization from cattle slurry following surface application to grassland: II Influence of application rate, wind speed and applying slurry in narrow bands. **Plant and Soil**, v.125, p.119-128,1990.

TRIVELIN, P. C. O. **Técnicas com o traçador ^{15}N em estudos de perdas gasosas de nitrogênio do solo**. Piracicaba, 2001. Apostila do programa de pós-graduação em energia nuclear na agricultura, CENA/USP.

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

TRIVELIN, P.C.O.; MANZONI, C.S. **Determinação de N-amônia volatilizado do solo pelo método da difusão**. Piracicaba, 2002. 11p. Projeto apresentado à FAPESP para bolsista de iniciação científica.

TRIVELIN, P.C.O. et al. 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.

VOLK, G.M. Efficiency of urea as affected by method of application, soil moisture and lime. **Agronomy Journal**, v.58, p.249-252, 1966.