

Boletim de Pesquisa 16 **e Desenvolvimento** ISSN 1981-2078 Junho, 2008

Métodos para avaliar as perdas de nitrogênio por volatilização da superfície do solo e por emissão de amônia pela folhagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Pecuária Sudeste
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 16

**Métodos para avaliar as perdas
de nitrogênio por volatilização
da superfície do solo e por emissão
de amônia pela folhagem de
Brachiaria brizantha cv. Marandu**

*Patrícia Perondi Anchão Oliveira
Paulo Cesar Ocheuze Trivelin
Ana Carolina Alves
Pedro Henrique de Cerqueira Luz
Valdo Rodrigues Herling*

Embrapa Pecuária Sudeste

Rod. Washington Luiz, km 234
Caixa Postal 339
Fone: (16) 3411-5600
Fax: (16) 3361-5754
Home page: www.cppse.embrapa.br
E-mail: sac@cppse.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Rui Machado
Secretário-Executivo: Edison Beno Pott
Membros: Carlos Eduardo da Silva Santos, Maria Cristina Campanelli Brito, Sônia Borges de Alencar, Waldomiro Barioni Júnior

Revisor de texto: Edison Beno Pott
Normalização bibliográfica: Sônia Borges de Alencar
Foto da capa: Patricia Perondi Anchão Oliveira
Editoração eletrônica: Maria Cristina Campanelli Brito

1ª edição on-line (2008)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação - CIP Embrapa Pecuária Sudeste

Patricia Perondi Anchão Oliveira

Métodos para avaliar as perdas de nitrogênio por volatilização da superfície do solo e por emissão de amônia pela folhagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu [Recurso eletrônico]/ Patricia Perondi Anchão Oliveira ... et al. — São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2008.

Modo de Acesso: <<http://www.cppse.embrapa.br/080servicos/publicacaogratis/boletim-de-pesquisa-desenvolvimento/boletim16.pdf/view>>

Título da página da Web (Acesso em 10 de junho de 2008).
41p. — (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Pecuária Sudeste, 16).

ISSN 1981-2078

1. Solo - Nitrogênio – Amônia - Perda - *Brachiaria brizantha* – I. Trivelin, Paulo C. Ocheuze. II. Alves, Ana Carolina. III. Luz, Pedro H. de Cerqueira. IV. Herling, Valdo Rodrigues. V. Título. VI. Série.

CDD 631.4

Sumário

1. Introdução	8
2. Experimento 1 - Comparação entre métodos para mensurar as perdas por volatilização de amônia em solo descoberto	9
2.1. Material e Métodos	9
2.2. Análise dos dados	19
2.3. Resultados e Discussão	20
2.4. Conclusão	25
3. Experimento 2 - Comparação entre métodos para calcular a emissão de amônia pela folhagem de <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu: absorvedor de espuma e balanço do ¹⁵ N	26
3.1. Material e Métodos	26
3.2. Resultados e Discussão	33
3.3. Conclusão	37
4. Experimento 3 - 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
4.1. Material e Métodos	37
4.2. Resultados e Discussão	38
4.3. Conclusão	39
5. Referências Bibliográficas	40

Métodos para avaliar as perdas de nitrogênio por volatilização da superfície do solo e por emissão de amônia pela folhagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu

*Pátricia Perondi Anchão Oliveira*¹

*Paulo Cesar Ocheuze Trivelin*²

*Ana Carolina Alves*³

*Pedro Henrique de Cerqueira Luz*³

*Valdo Rodrigues Herling*³

Resumo

A pecuária nacional é baseada na alimentação de bovinos em pastagens. O valor venal da terra e a oportunidade de realizar outras atividades agrícolas, como o cultivo de cana-de-açúcar, de laranja ou de grãos, fizeram com que pecuaristas adotassem técnicas de intensificação de uso das pastagens, como o pastejo rotacionado e a fertilização do solo. Dentre os fertilizantes aplicados, os nitrogenados são usados em maior quantidade; além disso, trata-se dos mais onerosos e de maior potencial para provocar danos ao ambiente. A eficiência desses fertilizantes e a diminuição de suas perdas é muito importante, tanto do aspecto ambiental quanto do econômico. As principais formas de perda dos fertilizantes nitrogenados são a lixiviação, a desnitrificação, a emissão de amônia pela folhagem e a volatilização; esta última é a de maior magnitude quando se usa uréia. Como os métodos utilizados para estimar as perdas por volatilização são de custo elevado ou causam alterações nas condições ambientais próximas à superfície do solo, devido à presença da câmara coletora, este trabalho teve por objetivo selecionar métodos alternativos que fossem de menor custo e que tivessem pouca interferência no microclima da pastagem, para mensurar essas perdas. O absorvedor de amônia constituído de espuma com densidade 20 kg.m⁻³ e de fita de politetrafluoroetileno colocado 1 cm acima do nível do solo ou do relvado mostrou-se efetivo em mensurar as perdas de amônia por volatilização e por emissão pela folhagem.

Termos para indexação: amônia; volatilização; perdas; coletor; pastagem.

¹ Pesquisadora da Embrapa Pecuária Sudeste. Rod. Washington Luiz, km 234, Caixa Postal 339, 13560-970, São Carlos, SP. Endereço eletrônico: ppaolive@cnpse.embrapa.br.

² CENA - USP

³ FZEA - USP.

Methods to evaluate losses of nitrogen by volatilization on soil surface and by ammonia emission through leaves of *Brachiaria brizantha* cv. Marandu

Abstract

Brazilian livestock industry is based on pastures. The market value of land and the opportunity to perform other agricultural activities, such as cultivation of sugarcane, oranges or grains, induced farmers to adopt techniques of intensive pasture management, such as rotational grazing and soil fertilization. Among the fertilizers applied, nitrogen needs to be used in greater quantity and additionally it is the most costly and the one with most potential to cause environmental damage. Efficiency of utilization of these fertilizers and reduction of their losses is very important, both as far as environmental and economic aspects are concerned. The main forms of nitrogenous fertilizer losses are leaching, denitrification, ammonia emission by leaves and volatilization; the latter is of greater magnitude when urea is applied. Since methods used to estimate volatilization losses are costly or because they cause changes in microclimate, due to the presence of the camera collector, this study aimed to select lower cost alternative methods, which would have less interference in pasture microclimate. Ammonia absorber composed by foam (density 20 kg.m⁻³) and tape of polytetrafluoroethylene placed 1 cm above soil surface or above plant leaves was effective in measuring losses of ammonia by volatilization and by leave emission.

Index terms: ammonia; volatilization; losses; collector; pasture.

1. Introdução

No Brasil, as pastagens constituem a base da produção de bovinos de corte. Sistemas de produção com essa fonte de alimento apresentam grande competitividade econômica comparados àqueles que adotam resíduos agroindustriais, grãos e silagem como base da alimentação (Hodgson, 1990). Entretanto, devido à limitada possibilidade de aumento das áreas de pastagens, a fertilização de solo passa a ser a principal alternativa para se atingir maior produção das forrageiras (Balsalobre, 2002) e maior eficiência de uso da terra e da água.

O conhecimento da eficiência do uso de fertilizantes no processo de intensificação de pastagens é importante para a viabilidade econômica do sistema de produção. Além disso, a maximização da eficiência do uso de fertilizantes deve estar diretamente relacionada com o grau do impacto ambiental causado. Dentre eles, os fertilizantes nitrogenados são usados em maior quantidade, apesar de serem os mais onerosos e de terem o maior potencial para provocar danos ao ambiente, devido à poluição atmosférica e dos lençóis freáticos.

As perdas gasosas pela emissão de óxidos de nitrogênio e de amônia na atmosfera são os principais fatores de ineficiência do uso dos fertilizantes nitrogenados. Essas perdas precisam ser bem compreendidas, para orientação do manejo de adubação das pastagens que vise melhorar o aproveitamento dos fertilizantes aplicados. Porém, os métodos utilizados para estimar as perdas por volatilização apresentam custo elevado ou causam alterações nas condições ambientais próximas à superfície do solo, devido à presença da câmara coletora.

Atualmente, perdas do nitrogênio por exsudação do sistema radicular após a assimilação pelos vegetais, perdas diretas de amônia pela folhagem ou mesmo perdas por gutação também têm sido consideradas (Trivelin, 2000). Entretanto, a magnitude dessas perdas é pouco conhecida; a causa, dentre outros fatores, é a falta de métodos específicos para sua determinação.

Dada a dificuldade dessas medições no campo e os altos valores das perdas gasosas nitrogenadas em sistemas de pastagens (Oliveira, 2001), o desenvolvimento de métodos simples e acessíveis para a avaliação desses processos é necessária para o conhecimento do ciclo de N.

Desse modo, o objetivo deste trabalho foi determinar métodos que tenham pouca interferência nos processos de volatilização, para quantificar a amônia (NH_3^+) volatilizada do solo. A amônia perdida por emissão foliar também foi foco de estudo.

2. Experimento 1: Comparação entre métodos para mensurar as perdas por volatilização de amônia em solo descoberto

2.1. Material e métodos

Estrutura física e delineamento experimental

O experimento foi realizado em vasos, em casa de vegetação pertencente ao Departamento de Zootecnia da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, da Universidade de São Paulo – USP (21°59' S e 47°26' W, a 634 m de altitude), localizado em Pirassununga, SP. A terra utilizada

foi retirada de uma camada de 0 – 20 cm de um Latossolo Vermelho-Amarelo com pH em $\text{CaCl}_2 = 5,5$; matéria orgânica (MO) = 11 g.dm^{-3} ; P = 13 g.dm^{-3} ; K, Ca e Mg = 1,5, 23 e $12 \text{ mmol}_c.\text{dm}^{-3}$, respectivamente; e saturação por bases = 60%.

A densidade do solo foi obtida por meio de determinação com anéis volumétricos. A necessidade de calcário para calagem foi calculada utilizando-se o método de saturação por bases e a terra permaneceu incubada por 90 dias. Ao fim do período de incubação, outra amostra foi coletada; suas características químicas foram determinadas, verificando-se pH em CaCl_2 de 6,6; MO de 19 g.dm^{-3} ; concentrações de K, Ca e Mg e capacidade de troca catiônica de 1,7, 39, 14 e $63 \text{ mmol}_c.\text{dm}^{-3}$, respectivamente; e saturação por bases de 87%.

As médias da temperatura e da umidade relativa do ar na casa de vegetação, durante a realização do experimento, podem ser visualizadas na Fig. 1.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, composto por catorze tratamentos, que consistiam em métodos de avaliação e alturas dos absorvedores de amônia em relação à superfície do solo. Os métodos utilizados foram: absorvedor de espuma, absorvedor de papel, absorvedor com ácido, coletor semi-aberto e balanço de ^{15}N . Para o absorvedor de espuma e para o de papel foram utilizadas quatro alturas (1, 5, 10 e 20 cm) em relação à superfície do solo; e para o absorvedor com ácido, três alturas (1, 5 e 10 cm). Cada tratamento teve cinco repetições.

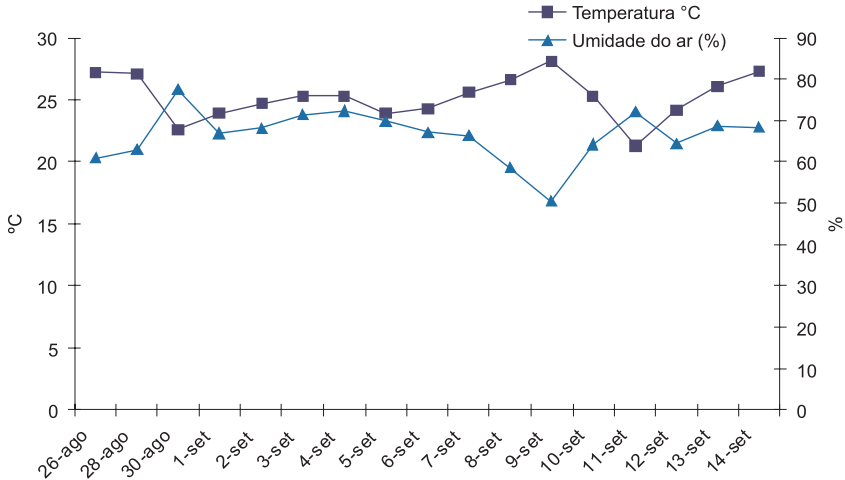


Fig. 1. Temperatura e umidade relativa do ar na casa de vegetação, durante o período experimental.

O período de coleta de amônia foi de 26 de agosto a 15 de setembro de 2005. Os vasos plásticos com 20 cm de altura e 17 cm de diâmetro, sem furos para escoamento de água, para impedir perdas de nitrogênio por lixiviação, foram preenchidos com 4,4 kg de terra. Aplicou-se em cada vaso uma dose de uréia equivalente a 100 kg.ha⁻¹ de N. Nos tratamentos dos absorvedores de espuma e de papel e do coletor semi-aberto aplicou-se uréia normal, enquanto no tratamento do balanço de ¹⁵N aplicou-se uréia enriquecida em 5% de átomos de ¹⁵N. O fertilizante foi diluído em água e aplicado sobre a terra dos vasos. Em seguida, os absorvedores e os coletores foram colocados nos vasos, com exceção do tratamento do balanço de ¹⁵N, o qual não recebeu absorvedor ou coletor.

Os vasos foram colocados em bancadas cercadas com lona plástica transparente, para evitar que houvesse a passagem da corrente de vento criada pelos exaustores da casa de vegetação e a possível interferência na captação do N amoniacal volatilizado. A terra dos vasos foi mantida em 50% da capacidade de campo e para isso os vasos eram diariamente pesados e irrigados de acordo com a necessidade.

Cada vaso recebeu um absorvedor, que foi colocado em altura diferente, de acordo com cada tratamento (1, 5, 10 ou 20 cm). Os absorvedores, descritos posteriormente, foram apoiados em quatro hastes, com a placa de PVC voltada para cima, de modo a evitar que a amônia presente acima do coletor fosse captada.

Os absorvedores e a espuma dos coletores foram trocados a cada dois dias, para determinação da amônia volatilizada; assim, no período experimental foram realizadas onze amostragens no período de 22 dias. A avaliação da volatilização de N-NH₃ pelo método do balanço de ¹⁵N (método de referência) foi realizada somente no 22º dia, no final do período experimental.

Confecção dos coletores

Detalhes da construção e do manuseio dos absorvedores são apresentados a seguir.

Coletor semi-aberto. O coletor semi-aberto utilizado foi o desenvolvido por Nönmik (1973), com adaptações realizadas por Lara Cabezas et al. (1999). As espumas de 15 cm de diâmetro e com densidade 20 kg.m^{-3} foram embebidas em 30 mL de ácido fosfórico (solução 0,5 N com 5% de glicerina) e armazenadas em sacos plásticos até o momento da colocação nos coletores.

A cada dois dias as espumas foram trocadas por novas. A espuma localizada na parte superior do coletor foi descartada e a inferior foi colocada em saco plástico identificado e armazenada em geladeira para posterior análise.

Absorvedor de espuma. Os absorvedores de espuma (Figura 2) utilizados foram semelhantes aos usados por Trivelin & Manzoni (2002). As espumas usadas nos absorvedores tinham dimensão de 8 x 8 cm e densidade de 20 kg.m^{-3} e foram embebidas em 11 mL de ácido fosfórico (0,5 N). Em seguida, foram colocadas sobre placas de PVC de 10,0 x 10,0 x 0,2 cm e envolvidas por uma camada de fita de politetrafluoroetileno (fita veda-rosca), que é permeável à amônia e impermeável à água. Os absorvedores foram armazenados em sacos plásticos até o momento da sua colocação sobre os vasos, para evitar contaminação com a NH_3^+ presente no ambiente.

A cada dois dias os absorvedores foram retirados, colocados em sacos plásticos e armazenados em geladeira; em seguida, novo absorvedor foi colocado sobre o vaso.

Absorvedores de papel-filtro. Os absorvedores de papel-filtro (Figura 2), com dimensões de 8 x 8 cm, foram embebidos em 2 mL de H_2SO_4 (5 M) e colocados sob uma placa de PVC de 10,0 x 10,0 x 0,2 cm, que foi envolvida por uma camada de fita de politetrafluoroetileno. Os absorvedores utilizados foram semelhantes aos usados por Trivelin & Manzoni (2002). Os absorvedores de papel também foram deixados em sacos plásticos até o momento da sua colocação sobre os vasos.

A cada dois dias os absorvedores foram retirados, colocados em sacos plásticos e armazenados em geladeira; em seguida, novo absorvedor foi colocado sobre o vaso durante a avaliação experimental.

Na Figura 2, é apresentado o esquema de montagem dos absorvedores. Na Figura 3, é apresentado um coletor semi-aberto em funcionamento sobre uma das parcelas experimentais.

Absorvedor com ácido. O absorvedor com ácido (Figura 4) era composto por um recipiente plástico com tampa, com capacidade para 35 mL e 3 cm de diâmetro. Essa tampa foi recortada, em toda sua área, permanecendo apenas o anel que se encaixa na lateral do tubo. O recipiente recebeu 5 mL de H_2SO_4 (5 M); sua abertura foi vedada com fita de politetrafluoroetileno e em seguida o anel remanescente da tampa foi encaixado, para prender a fita. Estes absorvedores também foram deixados em sacos plásticos até o momento da sua colocação sobre os vasos. Os absorvedores foram fixados em uma haste de plástico, em três alturas: 1, 5 e 10 cm, com a abertura vedada voltada para baixo. Em cada vaso destes tratamentos foi colocada

Fotos: Ana Carolina Alves



Figura 2. Esquema de montagem dos absorvedores de amônia. Acima, à esquerda, absorvedor composto por placa de PVC e filtro de papel recebendo ácido. Acima, à direita, absorvedor composto por placa de PVC e espuma. Abaixo, os dois absorvedores sendo envolvidos em camada de fita de politetrafluoroetileno.

uma haste, com três absorvedores nas alturas destes tratamentos foi colocada uma haste, com três absorvedores nas alturas mencionadas, alternadamente, de forma que cada absorvedor pudesse absorver a amônia volatilizada sem que um interferisse no outro. A cada dois dias os absorvedores foram retirados; em seguida, novo absorvedor foi colocado sobre o vaso durante a avaliação experimental. O conteúdo retirado dos recipientes foi armazenado em um frasco vedado e identificado e em seguida armazenado em *freezer* até o momento da análise.

Foto: Ana Carolina Alves



Figura 3. Coletor semi-aberto montado sobre parcela experimental.

Fotos: Ana Carolina Alves



Fita de politetrafluoroetileno, permeável à amônia e impermeável à água.

Figura 4. Detalhes do absorvedor com ácido.

Determinação do nitrogênio

Para a determinação do N no **absorvedor de espuma**, as espumas foram lavadas com volume conhecido de água, aproximadamente 300 mL, em funil de Buckner com placa porosa ligado a uma bomba de vácuo. Para realização das análises em triplicata foram retiradas três alíquotas de 50 mL, que foram analisadas pelo método de microkjeldahl.

Para a determinação do N no **absorvedor de papel-filtro**, o papel-filtro foi triturado com pistilo em um almofariz e misturado em volume conhecido de água, aproximadamente 150 mL. Retirou-se três alíquotas de 50 mL, que foram analisadas em triplicata no microkjeldahl. Na Figura 5, encontra-se detalhe da lavagem da espuma e da desintegração do papel-filtro.



Figura 5. À esquerda, lavagem da espuma; à direita, desintegração do papel-filtro, para posterior determinação de N.

Para a determinação da quantidade de N do **coletor com ácido**, diluiu-se em água o conteúdo dos recipientes que estavam armazenados no *freezer*, até completar o volume de 150 mL. Retiraram-se três alíquotas de 50 mL, que foram levadas ao microkjeldahl.

Para a determinação da quantidade de N no coletor **semi-aberto**, as espumas foram lavadas com aproximadamente 400 mL de água em funil de Buckner com placa porosa ligado a uma bomba de vácuo. Retiraram-se três alíquotas de 50 mL, que foram levadas ao microkjeldahl. Como nos coletores semi-abertos há alterações nas condições internas, o que impossibilita quantificar as perdas de $N-NH_3$ que efetivamente ocorrem em condições naturais, foram utilizadas as equações de calibração de Lara Cabezas et al. (1999), para expressar a volatilização de NH_3^+ em áreas não vegetadas, sem a influência dos coletores.

Após os 22 dias de experimento, a terra dos vasos que continha ^{15}N foi amostrada em três profundidades (de 0 – 5, de 5 – 10 e de 10 – 15 cm), de modo a abranger toda a profundidade do vaso. O solo foi borrifado com solução de H_2SO_4 (5 M), para evitar a volatilização da NH_3^+ , e secado em estufa a $40^\circ C$, para posterior análise no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), da USP, em Piracicaba, SP. O solo sem adição de ^{15}N foi amostrado e também foi avaliado quanto à abundância natural desse isótopo.

2.2. Análise dos dados

Foram avaliadas as seguintes variáveis para se detectar as perdas de amônia por volatilização pelo método do balanço com ^{15}N :

1. Teor de N (g.kg^{-1}) e abundância de ^{15}N (% em átomos) no solo dos vasos, determinados em espectrômetro de massa acoplado a analisador ANCA-SL (Europa Scientific Ltd.).

2. Porcentagem de N na terra, proveniente do fertilizante (%NPPF), conforme a equação: $\% \text{NSPF} = [(a - c)/(b - c)].100$, em que

a = abundância de ^{15}N , em porcentagem de átomos no solo;

b = abundância de ^{15}N no fertilizante marcado;

c = abundância natural de ^{15}N dos vasos-controle.

3. Quantidade de nitrogênio no solo proveniente do fertilizante (QNSPF), conforme a equação: $\text{QNSPF (g por vaso)} = [\% \text{NSPF}/100].\text{Np}$, em que

$\text{Np} = \text{N acumulado no solo do vaso, em g.}$

4. Recuperação do N aplicado no solo, de acordo com a fórmula:

$\text{Rec} = (\text{QNSPF}/\text{QN}_{\text{aplicado}}).100$, em que

$\text{QN}_{\text{aplicado}} = \text{quantidade de N aplicado.}$

5. Perdas por volatilização, de acordo com a fórmula:

$\text{Perdas} = 100 - \text{Rec.}$

Os dados dos tratamentos foram submetidos à análise de variância utilizando o teste F; as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

2.3. Resultados e discussão

As estimativas de volatilização acumulada de NH_3^+ no coletor semi-aberto (CSA) foram semelhantes ($P > 0,01$) apenas àquelas obtidas com o absorvedor de espuma a 1 cm de altura (AE1) e com o balanço de ^{15}N (^{15}N). Os absorvedores com ácido a 1, 5 e 10 cm de altura (AA1, AA5 e AA10) e os absorvedores de papel a 1 e a 5 cm de altura (AP1 e AP5) apresentaram valores acumulados de NH_3^+ volatilizada iguais ($P > 0,01$) entre si e ao balanço de ^{15}N (Figura 6). Portanto, o CSA, o AE1, o AA1, o AA5, o AA10, o AP1 e o AP5 estimaram as reais perdas acumuladas de NH_3^+ . Manzoni & Trivelin (2003), comparando absorvedores de papel com o método do balanço de ^{15}N , observaram que os absorvedores de papel a 1 cm de altura só estimaram as reais perdas de NH_3^+ por volatilização em condições de intensa volatilização.

Os absorvedores de espuma nas alturas de 5, 10 e 20 cm (AE5, AE10 e AE20) e os coletores de papel nas alturas de 10 e 20 cm (AP10 e AP20) subestimaram as perdas de NH_3^+ por volatilização. Possivelmente, parte da NH_3^+ volatilizada se dispersou antes de atingir os absorvedores.

As estimativas das perdas acumuladas de NH_3^+ pelos métodos AE1, AA1, AA5, AA10, AP1 e AP5 foram iguais às do método do balanço de ^{15}N (Figura 6). No entanto, para afirmar que estes métodos estimaram a real volatilização de NH_3^+ é preciso comparar, além dos valores acumulados, os valores de NH_3^+ perdida em cada dia com o método de referência, ou seja, a curva de volatilização de amônia ao longo do tempo. A avaliação da volatilização de NH_3^+ pelo método do balanço de ^{15}N (método de

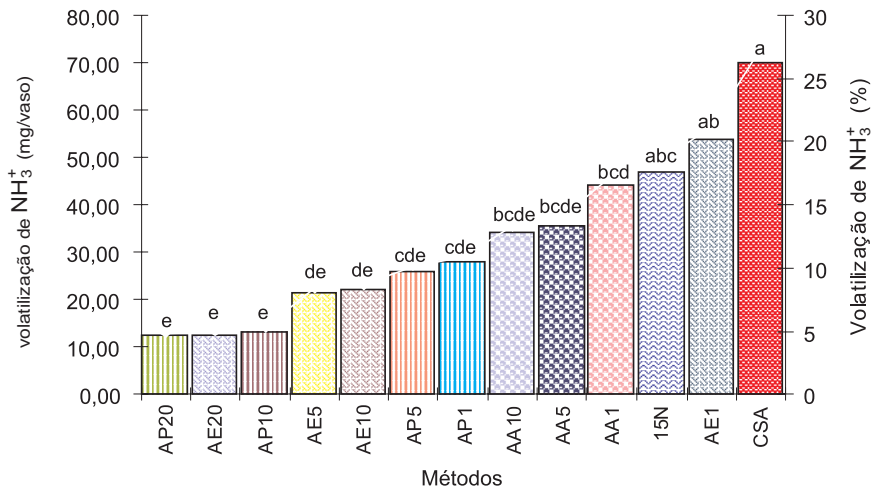


Figura 6. Perdas acumuladas de amônia volatilizada estimadas pelos métodos estudados.

Médias acompanhadas de letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

AE1, AE5, AE10, AE20 = absorvedor de espuma a 1, 5, 10 e 20 cm de altura, respectivamente.

AP1, AP5, AP10 e AP20 = absorvedor de papel a 1, 5, 10 e 20 cm de altura, respectivamente.

AA1, AA5, AA10 e AA20 = absorvedor de papel a 1, 5, 10 e 20 cm de altura, respectivamente.

15N = balanço de ¹⁵N.

CSA = coletor semi-aberto.

referência) foi realizada somente no último dia do período experimental; portanto, não foi possível estimar as perdas em cada dia por esse método. Porém, utilizou-se para esse fim o CSA, que já tinha sido calibrado pelo método do balanço de ¹⁵N por Lara Cabezas et al. (1999). Desta forma, foram comparados os valores das perdas de NH₃⁺ observadas no CSA com as perdas dos demais absorvedores, em cada dia de avaliação (Figuras 7, 8 e 9).

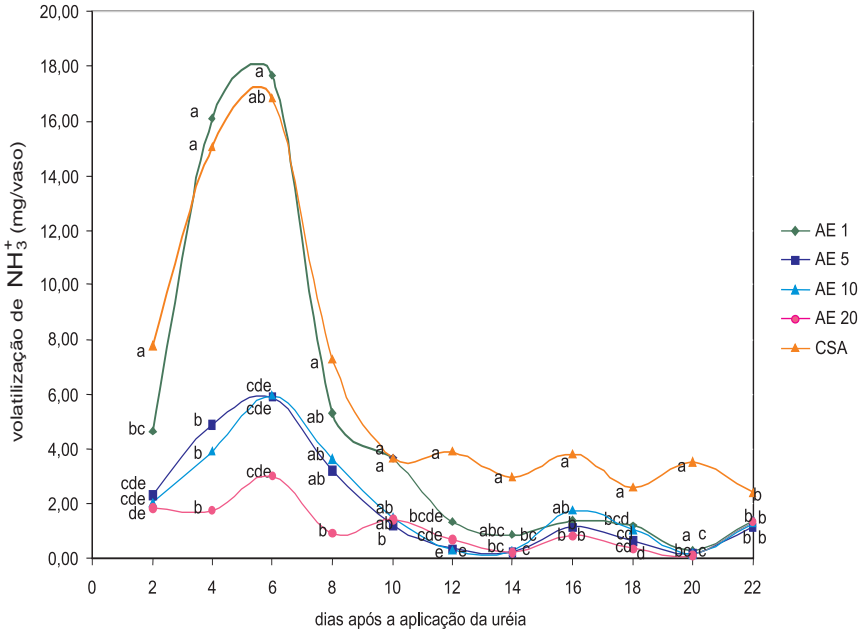


Figura 7. Estimativa das perdas de amônia por volatilização pelos métodos do coletor semi-aberto (CSA) e do absorvedor de espuma a 1, 5, 10 e 20 cm de altura (AE1, AE5, AE10 e AE20), avaliadas durante 22 dias. Letras distintas indicam que as médias diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 1%.

Na Figura 7, observa-se que do 4º ao 10º dia após a aplicação da uréia as perdas estimadas pelo AE1 foram semelhantes às medidas com o CSA. Neste período as perdas são consideradas as mais relevantes. No 14º e no 22º dia, novamente as perdas estimadas com esses dois métodos foram as mesmas ($P > 0,01$).

Com o uso do AE1 foi possível obter as estimativas reais de volatilização de $N-NH_3$ acumulada e as que ocorreram diariamente.

Apesar de as curvas referentes ao AE5, ao AE10 e ao AE20 mostrarem quantidades inferiores de amônia, comparadas às do CSA, observou-se que seu comportamento foi parecido, com pico de perdas por volta do 6º dia. A semelhança entre essas curvas indica a possibilidade da calibração dos métodos AE5, AE10 e AE20 com o método do ^{15}N , como realizado com o CSA por Lara Cabezas & Trivelin (1990) e Lara Cabezas et al. (1999).

As perdas estimadas com o AP1 e com o AP5 foram as mesmas que as medidas com o CSA do 6º ao 10º, no 14º e no 22º dia após a aplicação da uréia (Figura 8).

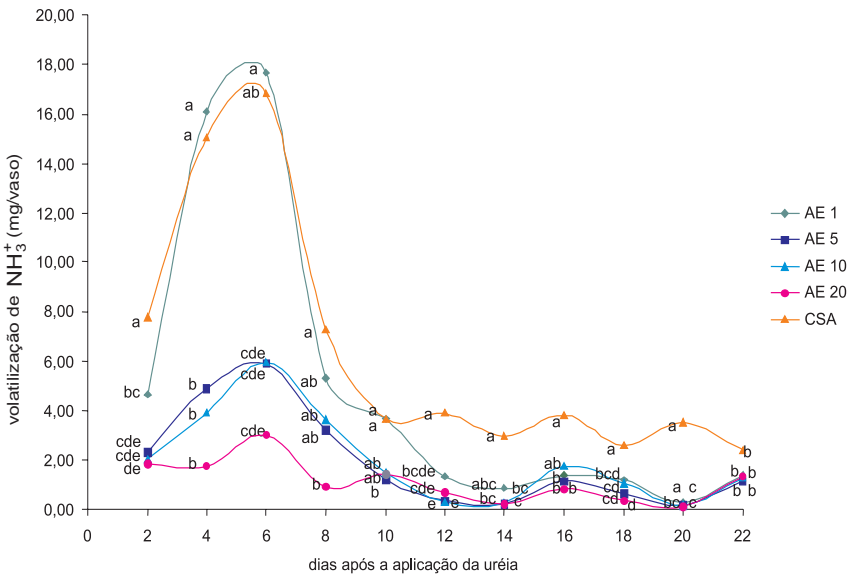


Figura 8. Estimativa das perdas de amônia por volatilização pelos métodos do coletor semi-aberto (CSA) e do absorvedor com papel filtro a 1, 5, 10 e 20 cm de altura (AP1, AP5, AP10 e AP20), avaliadas durante 22 dias. Letras distintas indicam que as médias diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 1%.

No 6^o, no 10^o e do 14^o ao 18^o dia após a aplicação da uréia, as quantidades estimadas de volatilização de NH_3^+ pelo método do CSA foram iguais às do AA1. A volatilização medida com o AA5 foi semelhante à estimada pelo CSA do 8^o ao 10^o e do 14^o ao 18^o dia após a aplicação da uréia (Figura 9).

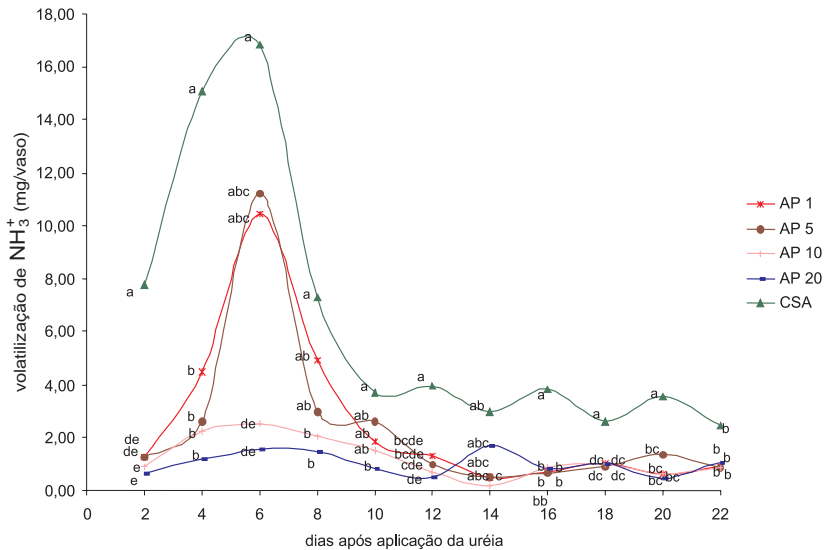


Figura 9. Estimativa das perdas de amônia por volatilização pelos métodos do coletor semi-aberto (CSA) e do absorvedor com ácido a 1, 5 e 10 cm de altura (AA1, AA5 e AA10), avaliadas durante 22 dias. Letras iguais indicam que as médias não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 1%.

O processo de volatilização de NH_3^+ teve sua máxima expressão entre quatro e seis dias após a aplicação da uréia, como nos experimentos realizados por Lara Cabezas & Trivelin (1990) e por Costa et al. (2003).

Observou-se que a quantidade de NH_3^+ perdida e retida que esteve mais próxima à encontrada no CSA durante os 22 dias de avaliação foi a do AE1.

Como as estimativas de volatilização de NH_3^+ obtidas com o balanço de ^{15}N são iguais àquelas obtidas com os métodos do CSA e do AE1, é possível substituir o balanço de ^{15}N e o CSA pelo AE1 na quantificação da amônia volatilizada, uma vez que este método apresenta menor custo em relação aos dois outros métodos mencionados e não interfere no processo natural de volatilização de NH_3^+ do solo, como verificaram Lara Cabezas & Trivelin (1990) com o CSA. Além disso, os resultados obtidos com o AE1 foram diretos, não sendo necessária a sua calibração.

2.4. Conclusão

O absorvedor de espuma colocado a 1 cm da superfície do solo estimou as perdas diárias e as perdas acumuladas de NH_3^+ e foi eficiente na captação do NH_3^+ volatilizada da uréia aplicada ao solo.

Os outros absorvedores, especialmente aqueles de papel-filtro e com ácido, em alguns casos foram eficientes para a captação das perdas acumuladas de amônia, mas não foram capazes de reproduzir o comportamento das perdas diárias de amônia, o que inviabiliza a aplicabilidade deles.

3. Experimento 2: Comparação entre dois métodos para calcular a emissão de amônia pela folhagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu: absorvedor de espuma e balanço do ^{15}N

O objetivo deste experimento foi comparar a eficiência do absorvedor de espuma na captura e na absorção da amônia emitida por via foliar e, no caso dos tratamentos que receberam adubação com uréia, também a amônia volatilizada, em relação ao método tradicional do balanço de ^{15}N . Foram usadas duas testemunhas, uma que recebeu adubação com uréia e outra que recebeu adubação com nitrato de amônio. Como os vasos não possuíam furos, não houve perda por lixiviação e como o nitrato de amônio praticamente não se volatiliza e não foi permitida ocorrência de perdas por desnitrificação, porque a capacidade de campo foi mantida em 50%, a única possibilidade de perda de N dos vasos que foram adubados com nitrato de amônio foi a emissão de amônia por via foliar. Já nos vasos adubados com uréia foram medidas as perdas por volatilização e por emissão por via foliar simultaneamente, devido às características desse tipo de fertilizante.

3.1. Material e métodos

Estrutura física e delineamento experimental

O experimento foi realizado em vasos, em casa de vegetação pertencente ao Departamento de Zootecnia da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, da USP, em Pirassununga, SP. A terra utilizada foi retirada de uma camada de 0 – 20 cm de Latossolo Vermelho-Amarelo.

Realizou-se análise para determinar as características químicas do solo e a sua densidade foi obtida por meio de determinação com anéis volumétricos. A necessidade de calcário para a calagem foi calculada utilizando-se o método de saturação por bases e a terra permaneceu incubada por 90 dias. Ao fim do período de incubação, outra amostra foi coletada e suas características químicas foram determinadas.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições e doze tratamentos, em estrutura fatorial: 5 x 2 (cinco tipos de fertilizantes e dois métodos de mensuração das perdas), e dois tratamentos-controle, conforme segue: cinco tipos de fertilizantes (uréia marcada na concentração de 5,33%; uréia marcada na concentração de 9,97%; nitrato de amônio marcado na concentração de 5,07%; nitrato de amônio marcado na concentração de 9,59%; nitrato de amônio marcado na concentração de 13,8%), dois métodos de mensuração das perdas (balanço de ^{15}N ; absorvedor) e tratamentos-controle (uréia sem marcação e nitrato de amônio sem marcação). A dose de fertilizante usada foi a equivalente a 75 kg.ha⁻¹ de N.

Os tratamentos com uréia e nitrato de amônio sem marcação foram incluídos para fornecer a abundância natural de ^{15}N no fertilizante, nas diversas estruturas da planta e no solo.

Adubação, plantio e condução do experimento

A terra para preenchimento dos vasos foi misturada com doses equivalentes a 1.200 kg.ha⁻¹ de superfosfato simples,

264 kg.ha⁻¹ de cloreto de potássio e 5,8 kg.ha⁻¹ de ácido bórico. 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 fósforo.

Os vasos plásticos com capacidade de sete litros e sem furos para escoamento de água, com a finalidade de impedir perdas de nitrogênio por lixiviação, foram preenchidos com 7 kg de terra com as características químicas apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas da terra usada no preenchimento dos vasos.

pH em CaCl ₂	MO ¹	P	S	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC ²	SB ³	V ⁴	m ⁵	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	g.dm ⁻³	mg.dm ⁻³	mg.dm ⁻³	mg.dm ⁻³	mmolc.dm ⁻³	mmolc.dm ⁻³	mmolc.dm ⁻³	mmolc.dm ⁻³	mmolc.dm ⁻³	mmolc.dm ⁻³	%	mmolc.dm ⁻³	mmolc.dm ⁻³	mmolc.dm ⁻³	mmolc.dm ⁻³	mmolc.dm ⁻³	mmolc.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

¹ Matéria orgânica.

² Capacidade de troca catiônica.

³ Soma de bases.

⁴ Saturação por bases.

⁵ Saturação por alumínio.

O plantio da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu foi realizado em 15/5/2006. As plantas se estabeleceram e formaram touceiras. Em 21/6/2006 foram cortadas, para uniformização, e os vasos receberam adubação com 50 kg.ha⁻¹ de N na forma de uréia. Em 29/7/2006 foi realizado outro corte de uniformização, com adubação com 50 kg.ha⁻¹ de N, porque não havia disponibilidade de nitrato de amônio duplamente marcado. Em 29/9/06 foi realizado novo corte e procedeu-se então à aplicação dos tratamentos.

Adicionou-se em cada vaso a dose de uréia ou de nitrato de amônio equivalente a 75 kg.ha^{-1} de N. Nos tratamentos testemunhas aplicou-se uréia e nitrato de amônio convencional, enquanto no tratamento do balanço de ^{15}N aplicou-se uréia ou nitrato de amônio enriquecidos em átomos de ^{15}N relativo a cada tratamento. O fertilizante foi diluído em água e aplicado sobre a terra dos vasos.

Em seguida, os absorvedores de espuma a 1 cm de altura das folhas superiores do relvado foram colocados nos vasos, com exceção dos tratamentos testemunhas. O procedimento de confecção e de manuseio dos absorvedores foi o mesmo relatado no experimento 1. Detalhes do vaso com o absorvedor são apresentados na Figura 10. A vista geral do experimento encontra-se na Figura 11.

A terra dos vasos foi mantida em 50% da capacidade de campo e, para tal, os vasos foram pesados e irrigados diariamente.

Os absorvedores foram trocados a cada dois dias, para determinação da amônia; foram, portanto, realizadas catorze amostragens no período de 28 dias. As coletas foram encerradas em 27/10/2006.

Foto: Ana Carolina Alves



Figura 10. Detalhe do absorvedor de espuma a 1 cm de altura das plantas (conforme as plantas se desenvolviam, o absorvedor era deslocado para cima).

Figura 11. Vista geral do experimento, com os absorvedores dispostos sobre os vasos.



Foto: Ana Carolina Alves

Após os 30 dias de experimento, as plantas foram colhidas, separadas em parte aérea (acima de 15 cm de altura), resíduo (de 0 a 15 cm de altura), coroa, e raízes (nas profundidades de 0 a 5 cm, 5 a 12 cm e 12 a 19 cm); em seguida, essas quatro estruturas foram secadas em estufa de circulação forçada de ar a 65°C até peso constante. O solo foi coletado nas mesmas profundidades de coleta do sistema radicular, de modo a abranger toda a profundidade do vaso. O solo foi borrifado com solução de H₂SO₄ (5 M), para evitar a volatilização da amônia, e secado em estufa a 40°C. Foi realizada determinação do teor de nitrogênio e da abundância de ¹⁵N em espectrômetro de massa ANCA SL, no CENA, em todas as estruturas da planta e no solo.

As plantas e o solo natural, que não receberam adubação com o traçador isotópico, foram amostrados para determinação da abundância natural de ¹⁵N. Também foi determinada a abundância natural de ¹⁵N nos fertilizantes convencionais.

O corte das plantas pode ser visualizado na Figura 12.

A porcentagem de N proveniente do fertilizante nas estruturas das plantas, na serapilheira e no solo (%NPPF) foi calculada conforme a equação 1, apresentada a seguir, e a quantidade de N proveniente do fertilizante nas estruturas das plantas ou no solo (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

Fotos: Ana Carolina Alves



Figura 12. Corte das plantas em diferentes estruturas.

recuperação foi obtida dividindo-se a QNPPF de cada estrutura pela dose de N da uréia ou do nitrato de amônio aplicada no ciclo ($75 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de N). A retenção de N no solo foi obtida pela divisão da quantidade de nitrogênio proveniente do fertilizante no solo pela dose de N da uréia ou do nitrato de amônio aplicado no ciclo. As perdas por volatilização e por emissão de amônia por via foliar foram calculadas subtraindo-se de 100 a soma da recuperação e da retenção no solo:

$\%NPPF = [(a - c)/(b - c)].100$ (equação 1), em que

a = abundância de ^{15}N em porcentagem 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 testemunha);

QNPPF (g por microparcela) = $[\%NPPF/100]*N_p$ (equação 2), em que

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

Os dados dos tratamentos foram submetidos à análise de variância utilizando o teste F; as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

3.3. Resultados e discussão

Algumas premissas devem ser lembradas, para que seja possível discutir os resultados. As perdas mensuradas neste experimento atendem ao princípio da técnica de diluição com o traçador isótopico ^{15}N e portanto referem-se às perdas do fertilizante e não somente da sua fração marcada. Nos tratamentos em que se utilizou uréia marcada na concentração de 5,33% e de 9,97% em átomos de ^{15}N e o método do balanço de ^{15}N , as perdas mensuradas são de volatilização de amônia e de emissão de amônia por via foliar. Nos tratamentos com nitrato de amônio, as perdas mensuradas são apenas da emissão foliar, uma vez que a terra dos vasos foi mantida em 50% da capacidade de campo, o que evita as perdas por

lixiviação e também porque o nitrato de amônio é uma fonte que praticamente não sofre volatilização. Entretanto, nos tratamentos com uréia marcada na concentração de 5,33% e de 9,97%, com as perdas medidas somente pelo absorvedor, haveria possibilidade de medir não só a emissão por via foliar, mas também alguma porção da amônia perdida por volatilização. Para se detectar qual tipo de perda o absorvedor mediria, haveria necessidade de comparação dos tratamentos entre si.

A análise de variância indicou interação entre os fertilizantes testados e o método usado para capturar a amônia emitida, quer por volatilização quer por emissão por via foliar.

Dessa forma, nos dois tratamentos em que se usou uréia marcada e medição de perda pelo método do balanço de ^{15}N verificaram-se perdas maiores do que em todos os outros tratamentos, o que atendeu às expectativas, uma vez que nesses dois tratamentos foram medidas tanto as perdas por emissão diretamente das folhas como por volatilização (Tabela 2).

Os tratamentos em que se usou uréia marcada nas concentrações de 5,33% e de 9,97% em átomos de ^{15}N e os tratamentos em que se usou nitrato de amônio marcado nas concentrações de 5,07%, de 9,59% e de 13,8% com perdas medidas pelo absorvedor apresentaram resultados estatisticamente iguais entre si (Tabela 2). Nesses tratamentos também se observaram perdas semelhantes àquelas dos tratamentos com nitrato de amônio marcado nas concentrações de 5,07% e de 9,59% em átomos de ^{15}N e perdas medidas pelo

balanço de ^{15}N , o que é importante, porque evidencia que os coletores de amônia posicionados 1 cm acima do relvado foram capazes de medir somente as perdas por emissão foliar, mesmo quando a fonte do fertilizante nitrogenado foi a uréia.

No tratamento com nitrato de amônio marcado na concentração de 13,8% e perdas medidas pelo balanço de ^{15}N , as perdas foram superiores às dos tratamentos com nitrato de amônio marcado na concentração de 5,07% e perdas mensuradas pelos dois métodos (Tabela 2).

Tabela 2. Perdas de nitrogênio na forma de amônia mensuradas pelo método do absorvedor de espuma e pelo balanço de ^{15}N .

Tratamento		Perdas de amônia		Tipo de perda
Fertilizante	Método	(%)	(mg por 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 (13,8%)	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 (13,8%)	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	
Coefficiente de variação (%)		40,4	36,8	
Probabilidade		0,01	0,01	

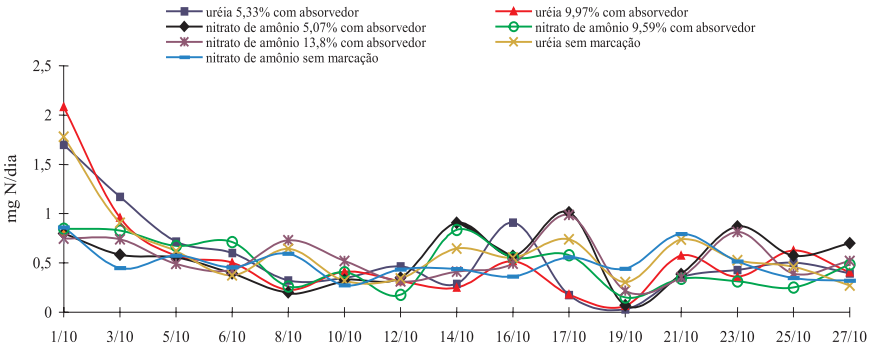


Figura 13. Estimativa das perdas diárias de amônia emitida por via foliar pelo método do absorvedor de amônia avaliadas durante 22 dias em função de diferentes tipos de fertilizantes.

Quando se comparam as Figuras 7 e 13, observa-se que a quantidade diária de N capturado pelos absorvedores de amônia posicionados 1 cm acima do relvado foi bem menor (Figura 13) do que a quantidade capturada quando o absorvedor foi colocado 1 cm acima do nível do solo (Figura 7); além disso, na Figura 13 não há pico de perdas, enquanto na Figura 7 aparece um pico logo após a aplicação do fertilizante. Esses dois comportamentos evidenciam novamente que as perdas medidas acima do relvado são por emissão foliar, conforme já colocado anteriormente na discussão da Tabela 2.

3.4. Conclusão

O absorvedor de amônia de espuma colocado 1 cm acima do relvado é capaz de mensurar as perdas de amônia por emissão direta pela folhagem, tanto a proveniente do nitrato quanto a da uréia.

4. Experimento 3: 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

Foi conduzido um terceiro experimento com o objetivo de verificar se a presença do coletor poderia interferir no processo de medição da volatilização de amônia.

4.1. Material e métodos

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro repetições.

Os tratamentos avaliados foram 75 kg ha⁻¹ de N na forma de:

- uréia marcada na concentração de 5,33% sem absorvedor;
- uréia marcada na concentração de 5,33% com absorvedor;
- nitrato de amônio marcado na concentração de 13,8% sem absorvedor;
- nitrato de amônio marcado na concentração de 13,8% com absorvedor.

O material e os métodos do experimento foram semelhantes aos do experimento nº 2; o método para detectar as perdas foi o balanço de ^{15}N em todos os tratamentos. As variáveis mensuradas também foram as mesmas.

4.2. Resultados e discussão

Não houve interação entre os fatores (fonte de fertilizante e presença de coletor) avaliados. As perdas foram diferentes em função da fonte de fertilizante mas não variaram em decorrência da presença ou da ausência de absorvedores (Tabela 3).

Tabela 3. Análise de 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 (%)
Presença ou ausência do coletor	27
Fonte de fertilizante	0,03
Interação entre os fatores	49

Coefficiente de variação = 26,55%.

As perdas de amônia nos vasos que receberam uréia foram maiores do que naqueles que receberam nitrato de amônio como fertilizante (Tabela 4). A explicação para esse fato é que, como as perdas foram mensuradas pelo método do balanço de ^{15}N , nos tratamentos que receberam uréia, as perdas foram em decorrência dos processos de volatilização e de

emissão por via foliar; já nos tratamentos que receberam nitrato de amônio as perdas foram somente por emissão por via foliar, uma vez que a terra dos vasos foi mantida em 50% da capacidade de campo para evitar a lixiviação, e as perdas por volatilização de amônia desse fertilizante são pequenas.

A presença do coletor não afetou a quantificação das perdas de amônia, conforme pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4. Estimativa de perdas de amônia (mg de N por vaso) em vasos com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu calculada pelo método do absorvedor de amônia colocado 1 cm acima das plantas.

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

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

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

Coefficiente de variação = 26,65%.

4.4. Conclusão

A presença da estrutura física de um coletor por vaso, instalado sobre as plantas, não interferiu no processo de mensuração das perdas de nitrogênio na forma de amônia.

5. Referências bibliográficas

BALSALOBRE, M. A. A. **Valor alimentar do capim Tanzânia irrigado**. 2002. 113 f. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2002.

COSTA, M. C. G.; 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, v. 27, p. 631-637, 2003.

HODGSON, J. G. **Grazing management** – science into practice. New York: Longman Scientific and Technical, 1990. 203 p.

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

LARA CABEZAS, W. A. R.; TRIVELIN, P. C. O.; BENDASSOLLI, J. A.; DE SANTANA, D. G.; GASCHO, G. J. Calibration of a semi-open static collector for determination of ammonia volatilization from nitrogen fertilizer. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, Athens, v. 30, p. 389-406, 1999.

NÖNMIK, H. The effect of pellet size on the ammonia loss from urea applied to forest soil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 39, p. 309-318, 1973.

OLIVEIRA, P. P. A. **Manejo da calagem e da fertilização nitrogenada na recuperação de pastagens degradadas de *Brachiaria sp.* em solos arenosos**. 2001. 110 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2001.

TRIVELIN, P.C.O. **Utilização do nitrogênio pela cana-de-açúcar**: três casos estudados com uso do traçador ^{15}N . 2000. 143 p. Tese (Livre-Docência) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2000.

TRIVELIN, P. C. O.; MANZONI, C. S. **Determinação de N-amônia volatilizado do solo pelo método da difusão**. Piracicaba: Centro de Energia Nuclear na Agricultura, 2002. 11 p. Relatório do projeto Fapesp para bolsista de iniciação científica. (Disponível com o primeiro autor deste Boletim de P & D).