

Volatilização de amônia, produção de matéria seca e teores foliares de N do azevém adubado com fontes nitrogenadas

Introdução

A produtividade de uma pastagem é função de vários fatores, entre eles as condições climáticas, edáficas e de manejo. De uma forma geral, o fator que mais influencia na produtividade das pastagens é o conteúdo de nitrogênio (N), por ser o nutriente mais limitante ao crescimento das plantas (MALAVOLTA, 1980). A produtividade do azevém submetido a doses de N, sob pastejo, foram avaliadas por Lupatini et al. (1998), com respostas crescentes, em termos de produção de matéria seca para os níveis de N testados (até 300 kg ha⁻¹ de N). Os dados obtidos por Restle et al. (2000) demonstram o adequado retorno econômico da adubação nitrogenada nessa espécie forrageira.

A uréia é a fonte nitrogenada mais utilizada no Brasil, devido ao menor custo por unidade do nutriente (ANDA, 2003). Porém a perda de N pela volatilização de amônia (NH₃) para a atmosfera é um dos principais fatores responsáveis pela baixa eficiência desta fonte. A quantidade de N perdido por volatilização, após a aplicação de uréia sobre a superfície do solo, pode atingir valores extremos próximos a 80 % do N aplicado (LARA-CABEZAS et al., 1997, CANTARELLA et al., 1999; MARTHA JUNIOR et al., 2004). Anjos e Tedesco (1976) relataram perdas por volatilização de N de 30% contra menos de 1% quando foram usados a uréia e o sulfato de amônio, respectivamente. Essas perdas, após a adubação, reduzem o crescimento da pastagem e, conseqüentemente, a taxa de lotação, o ganho de peso individual e por área. Oliveira et al. (2007) encontraram perdas gasosas de N em capim-marandu adubado com uréia variando entre 14 a 38%, sendo as menores perdas quando a uréia foi enterrada.

Para melhorar a eficiência do uso desta fonte é necessária a redução dessas perdas, que pode ser alcançada pela incorporação da uréia ao solo, adição de ácidos e sais de K, Ca e Mg, alteração na granulometria, ou tornando-a de

liberação lenta (ALLAIRE e PARENT, 2004). As perdas de N podem também ser reduzidas utilizando as zeólitas como aditivo aos fertilizantes para controlar a retenção e liberação de NH₄⁺ (MING e MUMPTON, 1989; MCGILLOWAY et al, 2003; GRUENER et al, 2003; REHAKOVA et al, 2004, BERNARDI et al., 2010).



Foto: Alberto C. de Campos Bernardi

66

Circular
Técnica

São Carlos, SP
Novembro, 2010

Autores

Alberto C. de Campos Bernardi
Pesquisador da Embrapa
Pecuária Sudeste, São Carlos,
SP, Bolsista do CNPq,
alberto@cnpse.embrapa.br

Edson Pereira da Mota
CPG em Solos e Nutrição de
Plantas, ESALQ/USP,
edson_mota@agronomo.eng.br

Rodrigo Donizeti Cardoso
Graduando em Agronomia,
UNICASTELO, Descalvado, SP,
r.donizeti@bol.com.br

Patrícia P. Anchão Oliveira
Pesquisadora da Embrapa
Pecuária Sudeste,
São Carlos, SP
ppaolive@cnpse.embrapa.br

As zeólitas são minerais alumino-silicatos cristalinos hidratados de metais alcalinos ou alcalinos-terrosos, estruturados em redes cristalinas tridimensionais rígidas, formadas por tetraedros de AlO_4 e SiO_4 , cujos anéis ao se unirem compõem um sistema de canais, cavidades e poros (MING e MUMPTON, 1989). Estes minerais de ocorrência natural apresentam 3 propriedades principais, que são a alta capacidade de troca de cátions, a alta capacidade de retenção de água livre nos canais, e a alta habilidade na adsorção, que lhes conferem grande interesse para uso na agricultura.

Existem relatos na literatura mostrando o aumento da eficiência da utilização do nitrogênio, especialmente na forma de uréia, quando utilizado em conjunto com este mineral (BERNARDI e MONTE, 2009). Crespo (1989) mostrou, em um experimento de vaso, que com o uso de 180g de zeólita (70% clinoptilolita) houve um aumento em torno de 130% da eficiência do uso e da extração de nitrogênio e da produção de matéria seca de *Brachiaria decumbens*. Bouzo et al. (1994) triplicaram a produtividade da cana-de-açúcar com o uso de 6 t ha⁻¹ de zeólita na linha de plantio em um Oxisol. Carrion et al. (1994) observaram que a aplicação de 150 kg ha⁻¹ de N, na forma de uréia recoberta com 5 a 10% de zeólita aumentou a produtividade das culturas de arroz e tomate. O princípio da ação da zeólita na conservação do amônio é a diminuição da concentração do composto na solução pela retenção nas cargas negativas do mineral e também na interferência do processo de nitrificação (BARTZ e JONES, 1983; FERGUNSON e PEPPER, 1987).

Existem poucos estudos de eficiência de fontes de nitrogênio em gramíneas de inverno, como o azevém. As zeólitas são úteis para aumentar a eficiência do uso do N para várias culturas, porém existem ainda poucas informações sobre a diminuição na emissão de amônia e aumento na eficiência do uso de N proveniente da uréia em sistemas agrícolas brasileiros. Além disso, considerando o elevado consumo de fertilizantes nitrogenados no país, e o fato de que a produção nacional atende praticamente apenas metade desta demanda, as fontes de fertilizantes alternativas e de maior eficiência podem representar valores significativos para o agronegócio do País.

Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar a volatilização de amônia, o rendimento de matéria seca e teores foliares de azevém adubado com fontes nitrogenadas.

Condução do trabalho

O experimento de casa de vegetação foi conduzido na Embrapa Pecuária Sudeste, em São Carlos, SP. A amostra da camada 0-20 cm do solo apresentou as seguintes propriedades químicas: $\text{pH}_{\text{CaCl}_2} = 6,3$, matéria orgânica = 25 g dm⁻³, $\text{P}_{\text{resina}} = 15$ g dm⁻³, $\text{K} = 1,8$ mmol_c dm⁻³, $\text{Ca} = 23$ mmol_c dm⁻³, $\text{Mg} = 13$ mmol_c dm⁻³, $\text{CTC} = 59$ mmol_c dm⁻³ e saturação por bases = 64%, e as características físicas: 541 g kg⁻¹ de areia, 74 g kg⁻¹ de silte e 385 g kg⁻¹ de argila. Os vasos foram uniformemente corrigidos até $V = 70\%$ antes do plantio com calcário dolomítico (PRNT 93%) e adubado no plantio com 200 mg kg⁻¹ de P_2O_5 , 100 mg kg⁻¹ de K_2O e 1,8 mg kg⁻¹ de Zn, nas formas de superfosfato simples (14% P_2O_5), cloreto de potássio (60% K_2O) e sulfato de Zn (20% de Zn).

A zeólita utilizada foi coletada no norte do Estado do Tocantins, no Brasil, na bacia do rio Parnaíba (REZENDE e ANGÉLICA, 1999) e apresentava 470 g kg⁻¹ de estilbita. O material foi triturado e concentrado para separar contaminantes (quartzo e óxidos de ferro e hidróxidos) por meio de concentração gravítica, utilizando-se a espiral de Humphrey (MONTE et al., 2009), resultando em um material com 650 g kg⁻¹ estilbita e granulometria < 1 mm (16 mesh).

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições. Os tratamentos consistiram em: a) uréia aplicada na superfície do solo; b) uréia incorporada ao solo a 5 cm de profundidade, c) uréia-NBT (inibidor da urease), d) uréia misturada com 200 g kg⁻¹ de zeólita e aplicada na superfície do solo, e) sulfato de amônio; f) nitrato de amônio e g) controle (sem N). Todos os tratamentos foram aplicados na dose equivalente de 50 kg ha⁻¹ de N em cobertura após o primeiro corte para uniformização da forrageira.

Os coletores para a captação de amônia volatilizada seguiram os procedimentos propostos por Alves (2006), e utilizado por Alves et al.

(2006) e Campana et al. (2008). Dessa forma, os coletores eram compostos de uma espuma de 0,08 x tamanho 0,08 m com 20 kg m⁻³ de densidade e umedecida com 11 mL de solução de ácido fosfórico (0,5 N). Posteriormente, as espumas foram colocados sobre placas de PVC (0,1 x 0,1 x 0,002 m) e envolvido com uma camada de fita de politetrafluoretileno (PTFE), que é permeável à amônia e impermeável à água. Dessa forma, a amônia passa pela fita de PTFE e é captada pela espuma embebida em solução ácida. Os coletores para determinar a amônia volatilizada foram colocados a 5 cm acima da superfície do solo e foram trocados diariamente durante os 5 primeiros dias e a cada dois dias até o final do período de 22 dias.

Para determinação do N volatilizado e capturado pelas espumas, as esponjas foram lavadas com água destilada (300 mL) em funil de Büchner com placa porosa e bomba de vácuo. O teor de amônio foi determinado por meio de aparelho de análise de injeção em fluxo (NOGUEIRA e SOUZA, 2005) em alíquotas da solução de lavagem, após armazenagem sob refrigeração.

O azevém foi amostrado no início do florescimento. As concentrações totais de N em amostras de parte aérea foram determinadas após a digestão sulfúrica a quente em sistema padrão de micro-Kjeldahl (NOGUEIRA e SOUZA, 2005).

A eficiência do uso de N (EUN), a eficiência agrônômica (EA), a eficiência de recuperação pela cultura (ER) e a eficiência fisiológica (EF) das fontes de N foram calculados utilizando as seguintes fórmulas, como sugerido por Dobermann (2007):

$$EUN = \frac{PN}{FN} \text{ (g de produto da colheita por g de N aplicado),}$$

$$EA = \frac{(PN - PO)}{FN} \text{ (g de aumento no rendimento por g de N aplicado),}$$

$$ER = \frac{(AN - AO)}{FN} \text{ (g de aumento na absorção de N por g de N aplicado),}$$

$$EF = \frac{(PN - PO)}{(AN - AO)} \text{ (g de aumento do produto da colheita por g de aumento na absorção de N do fertilizante), na absorção de N do fertilizante),}$$

Onde,

F_N = quantidade de fertilizantes N aplicado;

P_N = produtividade da cultura com o N aplicado;

P_0 = produtividade da cultura em um tratamento de controle sem N;

A_N = absorção total de N pela biomassa de plantas que receberam N;

A_0 = absorção total de N pela biomassa de plantas que não receberam N.

Os dados da volatilização de amônia, rendimento de matéria seca e concentrações de nitrogênio foram submetidos à análise de variância considerando os efeitos de bloco e de tratamentos. As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Duncan ao nível de 5 % de significância para determinar as diferenças.

Apresentação e discussão dos resultados

A estimativa de perda de NH₃ volatilizada pelo absorvedor de espuma em cada tratamento ao longo dos 22 dias do período de amostragem é mostrada na Figura 1. O pico de volatilização da NH₃ que ocorre nos primeiros dias após a aplicação do fertilizante nitrogenado (CANTARELLA et al., 2001) foi observado no presente estudo. Os resultados mostraram que a perda máxima de N-NH₃ está concentrada do primeiro ao quarto dia após a aplicação das fontes nitrogenadas. Durante este período, as perdas são consideradas mais relevantes e estão de acordo com aqueles obtidos por Alves et al. (2007) e Campana et al. (2008) utilizando a mesma metodologia de captura e determinação da amônia. A exceção foi a uréia com inibidor de urease (NBT), que ocorreu no máximo cinco dias até dezoito dias após a aplicação. As menores perdas por volatilização ocorreram com o sulfato de amônio e nitrato de amônio e foram muito próximas das perdas observadas no controle (sem N).

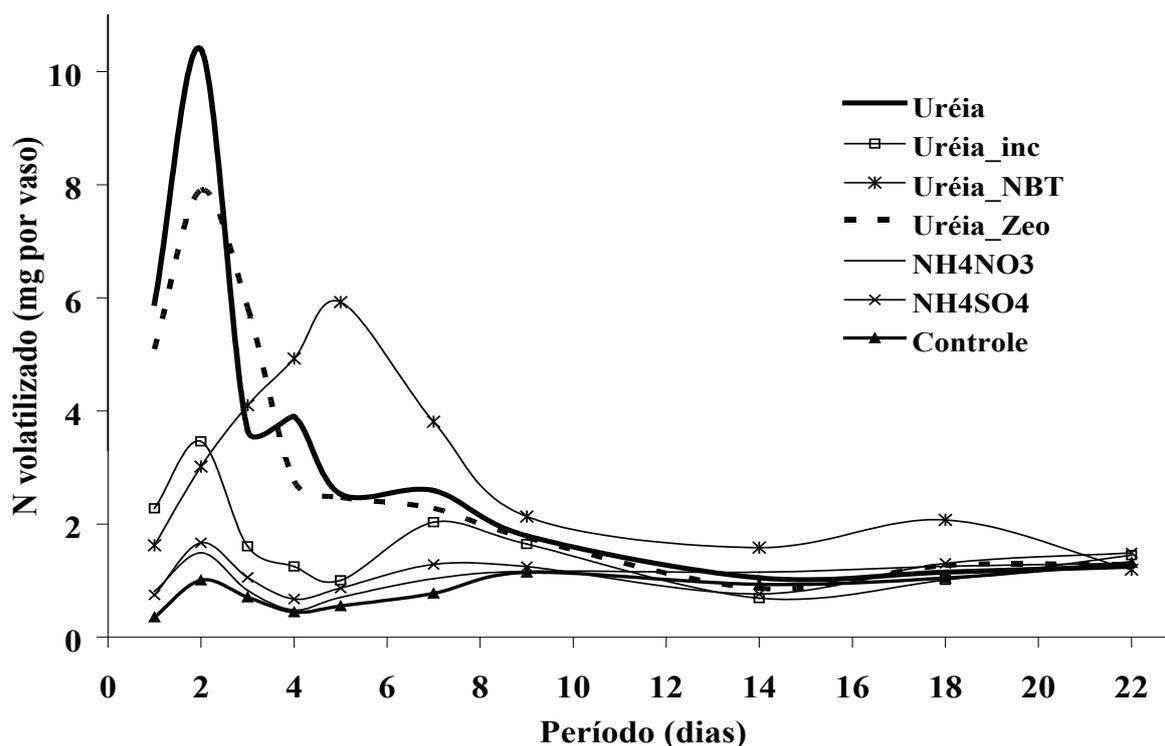


Figura 1. Taxas diárias de volatilização de amônia (mg por vaso) em função das fontes de N utilizadas. Cada ponto é resultado da média de 4 repetições.

Houve diferença entre tratamentos na taxa de volatilização de NH_3 acumulada (Tabela 1). As menores perdas foram obtidas com sulfato e nitrato de amônio e uréia incorporada a 5 cm de profundidade. Interessante destacar que esses tratamentos não diferiram estatisticamente do tratamento controle. A adição de 20 % de zeólita à uréia proporcionou queda de 36,2 para 33,4 mg por vaso na volatilização acumulada de NH_3 . Esses resultados corroboram os obtidos por Alves et al. (2007), que mediram a volatilização de NH_3 em solo nu fertilizado com uréia misturada com várias proporções de zeólita e encontraram queda de volatilização nas proporções de 25 % e de 100 % de adição de zeólita. Devido a zeólita diminuir a concentração de NH_4 na solução do solo por meio da troca catiônica (FERGUSON & PEPPER, 1987), provavelmente ocorre um aumento da eficiência no uso de N mediante o controle de retenção e de liberação de NH_4 .

A porcentagem de perda de N (Tabela 1) em relação ao total aplicado, para todos os tratamentos foi menor do que as encontradas em condições de campo, com aplicação de uréia na superfície e sem incorporação ao solo (COSTA et al., 2003; LARA CABEZAS et al., 1997; LARA CABEZAS e TRIVELIN, 1990). Os resultados indicaram que aproximadamente 21% do N aplicado se perdeu na forma de NH_3 quando não houve adição de zeólita à uréia. Já a adição de 20% de zeólita reduziu as perdas apenas para 19,6%, e a incorporação deste fertilizante nitrogenado ao solo reduziu as perdas à metade (10,6%). Como era esperado, as menores porcentagens de perda foram obtidas com as fontes sulfato e nitrato de amônio. O melhor rendimento de matéria seca (6,8 g por vaso) e a maior absorção de N (121 mg por vaso) foram obtidos com a fonte sulfato de amônio (Tabela 1). Provavelmente o nutriente enxofre presente na fonte influenciou positivamente a forrageira.

Tabela 1. Volatilização de amônia total e produção de matéria seca, teor foliar de N, absorção de N na biomassa do azevém em função das fontes nitrogenadas.

Tratamentos	Volatilização de amônia		MS (g por vaso)	Teor N (g kg ⁻¹)	N absorvido (mg por vaso)
	(mg por vaso)	(% total)			
Uréia	36,19 A	21,17 A	5,38 B	13,9 C	74,9 D
Uréia incorporada ao solo (5 cm)	18,14 B	10,61 B	5,88 AB	19,4 A	113,0 AB
Uréia -NBT	32,43 A	18,86 A	6,33 AB	15,4 C	97,1 BC
Uréia com 20% zeólita	33,43 A	19,55 A	5,58 B	14,6 C	81,33 DC
Sulfato de amônio	12,71 B	7,43 B	6,75 A	17,9 AB	120,5 A
Nitrato de amônio	11,69 B	6,83 B	6,30 AB	17,3 B	109,7 AB
Controle	9,78 B	-	0,93 C	13,4 C	12,3 E

Médias seguidas por letras distintas são significativamente diferentes de acordo com o teste Duncan ($p < 0,05$).

Os rendimentos de matéria seca obtidos com uréia revestida com 200 g kg⁻¹ de zeólita foram estatisticamente equivalentes àqueles obtidos com nitrato de amônio, uréia-NBT, uréia incorporada a 5 cm e uréia aplicada na superfície. Esses resultados diferem daqueles obtidos por Soares et al. (2001) com pastagem de aveia preta e azevém adubada com uréia e sulfato de amônio em cobertura (75 kg ha⁻¹ de N), uma vez que os autores não verificaram efeito da fonte de N sobre a produção de matéria seca da forragem.

Absorção de N na biomassa aérea não seguiu a mesma tendência da produção de matéria seca (Tabela 1), pois a absorção de N da uréia com zeólita foi estatisticamente equivalentes apenas aos obtidos com uréia-NBT e uréia aplicada na superfície. Os valores de N absorvido obtidos com os tratamentos com nitrato de amônio e uréia incorporada a 5 cm foram estatisticamente equivalentes ao melhor tratamento (sulfato de amônio).

O teor máximo de N na parte aérea observada foi de 19,4 g kg⁻¹, alcançado com uréia incorporada ao solo a 5 cm de profundidade (Tabela 1), seguido pelo tratamento com sulfato de amônio (17,9 g kg⁻¹), os quais não diferiram estatisticamente. O teor obtido com a fonte nitrato de amônio de 17,3 g kg⁻¹ foi equivalente ao obtido com o sulfato.

O teor de nitrogênio das plantas produzidas com uréia com zeólita não diferiram estatisticamente da uréia com inibidor de urease, da uréia aplicada à superfície do solo e do controle. Esses valores foram, respectivamente, apenas 9, 15 e 4% maiores que os do controle. O valor relativamente alto observado no controle pode ser explicado pelo efeito de diluição do nutriente nos tecidos da planta (JARRELL e BEVERLY, 1981), uma vez que esse tratamento produziu uma quantidade muito baixa de matéria seca e com isso ocorreu concentração do teor do nutriente na planta.

A eficiência de uso do N (EUN) é um índice que inclui as contribuições para o rendimento de culturas derivadas de absorção do N do solo, eficiência de absorção de N-fertilizante, e eficiência de conversão do N adquirido por plantas para a produção de MS. A eficiência agrônômica (EA) é o produto da recuperação do N proveniente de fontes de N. Já a eficiência de recuperação (ER) da cultura representa o grau de congruência entre a demanda de N na planta e o N-disponível pelo fertilizante aplicado. E, por fim a eficiência fisiológica (EF) é a eficiência com que a planta utiliza na produção de biomassa, cada unidade de N adquirido a partir do N aplicado (DOBERMANN, 2007). Os resultados mostraram que houve diferença estatística entre os tratamentos em EUN, EA, ER e EF (Tabela 2). Os menores valores de EUN e EA foram observados para o

tratamento de uréia aplicada na superfície do solo, e os maiores foram obtidos com sulfato de amônio. A uréia revestida com zeólita apresentou valores intermediários. A EF e ER foram as variáveis mais sensíveis para avaliar as variações nas fontes de N nos tratamentos de adubação. Quando se compara o valor da EF da uréia com o obtido com a mistura de uréia e zeólita observa-se que há um decréscimo do valor. Mostrando que apesar da adição do mineral ter levado a reduções nas perdas de N volatilizado, este nutriente pode ter permanecido retido, em detrimento ao crescimento da cultura.

Estes resultados confirmam que as zeólita são capazes de contribuir para aumentar a absorção de N por meio do controle de retenção do íon amônio formado pela hidrólise da uréia no solo, devido à alta capacidade de troca catiônica deste mineral e retirada do amônio na solução do solo (BARTZ e JONES, 1983; FERGUSON e PIPPER, 1987). Os resultados obtidos corroboram aqueles obtidos por Crespo (1989), Bouzo et al. (1994), He et al. (2002), Campana et al. (2008), Alves et al. (2007) e Bernardi et al. (2010) que também encontraram efeitos benéficos quando se usa este mineral com uréia.

Tabela 2. Eficiência do uso de N (EUN), eficiência agrônômica (EA), eficiência de recuperação pela cultura (ER) e eficiência fisiológica (EF) em função das fontes nitrogenadas utilizadas na adubação do azevém.

Tratamentos	EUN	EA	ER		EF
			(g g ⁻¹)		
Uréia	31,4 B	26,0 B	0,366 D		49,9 A
Uréia incorporada ao solo (5 cm)	34,4 AB	28,9 AB	0,589 AB		32,2 C
Uréia - NBT	37,0 AB	31,6 AB	0,496 BC		42,6 B
Uréia com 20% zeólita	32,6 B	27,2 AB	0,404 CD		46,7 C
Sulfato de amônio	39,5 A	34,0 A	0,633 A		35,6 A
Nitrato de amônio	36,8 AB	31,4 AB	0,569 AB		37,3 AB

Médias seguidas por letras distintas são significativamente diferentes de acordo com o teste Duncan ($p < 0,05$).

Os resultados indicaram também que a incorporação da uréia ao solo pode reduzir à metade as perdas por volatilização. A uréia com inibidor da urease é uma alternativa adequada para adubação nitrogenada, uma vez que apresentou desempenho semelhante às fontes que não sofrem perdas por volatilização (sulfato e nitrato de amônio).

Referências

ALLAIRE, S. E.; PARENT, L. E. Physical properties of granular organic-based fertilizers. Part 1 Static properties. **Biosystems Engineering** v. 87, p. 79-87, 2004

ALVES, A. C. **Métodos para quantificar volatilização de N-NH₃ em solo fertilizado com uréia**, 2006. 41 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos - Universidade de São Paulo, Pirassununga.

ALVES, A. C.; ALVES, T. C.; MACEDO, F. B.; BERNARDI, A. C. C.; OLIVEIRA, P. P. A.; ROCHETI, G. C. **Adição de zeólita para redução da volatilização de amônia em solo fertilizado com uréia**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2007. 4 p. (Circular Técnica. Embrapa Pecuária Sudeste, 55).

ANDA. Associação Nacional para Difusão de Adubos. Anuário estatístico do setor de fertilizantes - 2002. São Paulo, 2003. ANJOS, J.T.; TEDESCO, M. J. Volatilização de amônia proveniente de dois fertilizantes nitrogenados aplicados em solos cultivados. **Científica**, Jaboticabal, v.4, n.1, p.49-55, 1976.

BARTZ, J. K.; JONES, R. L. Availability of nitrogen to sudangrass from ammonium-saturated clinoptilolite. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 47, p. 259-262, 1983.

BERNARDI, A. C. C.; MONTE, M. B. M.; PAIVA, P. R. P. Produção de matéria seca, extração e utilização de nitrogênio em aveia adubada com uréia em mistura com zeólita. **Revista de Agricultura**, v. 85, p. 53-60, 2010.

- BERNARDI, A. C. C.; MONTE, M. B. M. O uso de zeólitas na agricultura. In: LAPIDO-LOUREIRO, F. E. V., MELAMED, R. FIGUEIREDO NETO, J. (Ed.). Fertilizantes, agroindústria e sustentabilidade. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2009, p. 493-508.
- BOUZO, L.; LOPEZ, M.; VILLEGAS, R.; GARCIA, E.; ACOSTA, J. A. Use of natural zeolites to increase yields in sugarcane crop minimizing environmental pollution. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 15., 1994, Acapulco, Mexico. **Transactions...** Acapulco: International Society of Soil Science, 1994. v. 5a, p. 695-701.
- CAMPANA, M.; BERTOLOTE, L. E. M.; ALVES, A. C.; OLIVEIRA, P. P. A.; BERNARDI, A. C. C.; ROCHETTI, R. C.; ALVES, T. C.; MACEDO, F. B.; MORAIS, J. P. G. Volatilização de amônia em pastagem de capim-tanzânia fertilizada com mistura de uréia e zeólita. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2008. 6 p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Circular Técnica, 55).
- CANTARELLA, H.; CORRÊA, L. A.; PRIMAVESI, A. C.; PRIMAVESI, O.; FREITAS, A. R.; SILVA, A. G. Ammonia losses by volatilization from coastcross pasture fertilized with two nitrogen sources. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 19., 2001, Águas de São Pedro, SP. **Proceedings...** Piracicaba: Brazilian Society of Animal Husbandry, 2001. p. 190-192.
- CANTARELLA, H.; ROSSETO, R.; BARBOSA, W.; PENNA, M. J.; RESENDE, L. C. L. Perdas de nitrogênio por volatilização da amônia e resposta da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada, em sistema de colheita de cana sem queima prévia. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 7., 1999, Londrina. **Anais...** Londrina: Álcool Subpr., 1999. p. 82-87.
- CARRION, M.; GONZALEZ, R.; GIL, R.; RODRIGUEZ, C.; MARTINEZ-VIERA, R.; CRUZ, A.; COLOMBO, R.; PENA, E.; TORRES, S. Influence of fertilizers with zeolite on crop yields. In: INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FUNDAMENTALES EN AGRICULTURA TROPICAL ALEJANDRO DE HUMBOLT. **90 anos de la estacion experimental agronomica de Santiago de las Vegas**. Santiago de las Vegas: Estacion Experimental Agronomica, 1994. p. 201-211.
- 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 Ciências do Solo**, Campinas, v. 27, p. 631-637, 2003.
- CRESPO, G. Effect of zeolite on the efficiency of the N applied to *Brachiaria decumbens* in a red ferrallitic soil. **Cuban Journal of Agricultural Science**, v. 23, p. 207-212, 1989.
- DOBERMANN, A. Nutrient use efficiency – measurement and management. 2007. Disponível em: www.fertilizer.org/ifacontent/download/7334/115716/version/1/file/2007_IFA_FBMP_part_1_dobermann.pdf. Acesso em : 01 de julho. de 2009.
- FERGUNSON G.; PEPPER, I. Ammonium retention in soils amended with clinoptilolite. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 51, p. 231–234, 1987.
- GRUENER, J. E.; MING, D. W.; HENDERSON, K. E.; GALINDO, C. Common ion effects in zeoponic substrates: wheat plant growth experiment. **Microporous and Mesoporous Materials**, v. 61, p. 223-230, 2003.
- HE, Z. L.; CALVERT, D. V.; ALVA, A. K.; LI, Y. C.; BANKS, D. J. Clinoptilolite zeolite and cellulose amendments to reduce ammonia volatilization in a calcareous sandy soil. **Plant Soil**, The Hague, v. 247, n. 2, p. 253–260.2002.
- JARRELL, W. M.; BEVERLY, R. B. The dilution effect in plant nutrition studies. **Advance in Agronomy**, v. 34, p. 197-224, 1981.
- LARA CABEZAS, W. A. R.; KORNDÖRFER, G. H.; MOTTA, A. S. Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: II. Avaliação de fontes sólidas e fluidas em sistema de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 21, p. 489-496, 1997.
- 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**, v. 14, p.345-352, 1990.

LUPATINI, G. C.; RESTLE, J.; CERETA, M.; MOOJEN, E. L.; BARTZ, H. R. Avaliação da mistura de aveia preta (*Avena strigosa*) e azevém (*Lolium multiflorum*) sob pastejo, submetida a níveis de nitrogênio. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 11, p. 1939-1943, 1998.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 1980. 251 p.

MARTHA JUNIOR, G. B.; CORSI, M.; TRIVELIN, P. C. O.; ALVES, M. C. Nitrogen recovery and loss in a fertilized elephant grass pasture. **Grass and Forage Science**, Exeter, v. 59, p. 80-90, 2004.

MCGILLOWAY, R.; WEAVER, R.; MING, D.; GRUENER, J. Nitrification in a zeoponic substrate. **Plant Soil**, The Hague, v. 256, p. 371-378, 2003.

MING, D. W.; MUMPTON, F. A. Zeolites in soils. In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. (Ed.). **Minerals in soil environments**. 2. ed. Madison: Soil Science Society of America, 1989. p. 873-911.

MONTE, M. B. M.; MIDDEA, A.; BERNARDI, A. C. C.; REZENDE, N. G. A. M.; BAPTISTA FILHO, M.; SILVA, M. G.; VARGAS, H.; AMORIM, H.S.; SOUZA-BARROS, F. Nutrient release by a Brazilian sedimentary zeolite. **Anais da Academia Brasileira de Ciência**, v. 81, p. 641-653, 2009.

NOGUEIRA, A. R. A.; SOUZA, G. B. **Manual de laboratórios: Solo, água, nutrição vegetal, nutrição animal e alimentos**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2005. 313 p.

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

REHAKOVA, M.; CUVANOVA, S.; DZIVAK, M.; RIMAR, J.; GAVAL'OVA, Z. Agricultural and agrochemical uses of natural zeolite of the clinoptilolite type. **Current Opinion in Solid State and Materials Science**, v. 8, p. 397-404, 2004.

RESTLE, J.; ROSO, C.; SOARES, A. B. Produtividade animal e retorno econômico em pastagem de aveia preta mais azevém adubada com fontes de nitrogênio em cobertura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, n. 2, p. 357-364, 2000.

REZENDE, N. G. A. M.; ANGELICA, R. S. Sedimentary zeolites in Brazil. **Mineralogica et Petrographica Acta** v. 42, p. 71-82, 1999.

SOARES, A.B.; RESTLE, J.; ROSO, C.; LUPATINI, G.C.; ALVES FILHO, D.C. Dinâmica, qualidade, produção e custo de produção de forragem da mistura aveia preta e azevém anual adubada com diferentes fontes de nitrogênio. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 1, p. 117-122, 2001.

Circular Técnica, 66

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:
Embrapa Pecuária Sudeste
Endereço: Rod. Washington Luis, km 234, São Carlos, SP
Fone: (16) 3411-5600
Fax: (16) 3361-5754
Endereço Eletrônico: sac@cppse.embrapa.br

Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento



1ª edição on-line (2010)

Comitê de publicações

Presidente: Ana Rita de Araujo Nogueira.
Secretário-Executivo: Maria Luiza F. Nicodemo.
Membros: Ane Lisy F.G. Silvestre, Maria Cristina Campanelli Brito, Milena Ambrósio Telles, Sônia Borges de Alencar.

Expediente

Revisão de texto: Milena Ambrosio Telles.
Editoração eletrônica: Maria Cristina C. Brito.

Apoio:

