

ABSORÇÃO FOLIAR PELO CAPIM-TANZÂNIA DA AMÔNIA VOLATILIZADA DO ^{15}N -UREIA APLICADO AO SOLO⁽¹⁾

Geraldo Bueno Martha Júnior⁽²⁾, Paulo Cesar Ocheuze Trivelin⁽³⁾
& Moacyr Corsi⁽⁴⁾

RESUMO

Avaliou-se o efeito da dose de N-ureia (40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N) e da distância (0, 27 e 35 cm) entre dreno (folhas) e fonte (ureia aplicada ao solo) sobre a absorção foliar de amônia por pastagem de *Panicum maximum* cv. Tanzânia. Adotou-se um delineamento inteiramente casualizado no esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. Não houve efeito da distância sobre a absorção foliar de amônia ($p > 0,05$), mas esta diminuiu exponencialmente ($p < 0,05$) com o incremento das doses de N-ureia ou da taxa de volatilização de amônia, variando de 2,5 a 16,4 % do N volatilizado.

Termos de indexação: eficiência de uso do N, pastagem tropical, perdas de N, recuperação de N.

SUMMARY: TANZANIA GRASS LEAF ABSORPTION OF AMMONIA VOLATILIZED FROM ^{15}N -UREA APPLIED TO SOIL

*The effect of urea-N rates (40, 80 and 120 kg ha⁻¹ N) and the distance (0, 27 and 35 cm) from sink (leaf) to source (urea applied to soil) on leaf absorption of ammonia by the pasture species *Panicum maximum* cv. Tanzania was evaluated. A randomized design was used in a split-plot arrangement with four replicates. The distance had no effect on leaf ammonia absorption ($p < 0.05$), but the absorption decreased exponentially ($p < 0.05$) with increasing N-rates or ammonia volatilization rates. Leaf ammonia absorption varied from 2.5 to 16.4 % of the volatilized N.*

Index terms: N losses, N recovery, N use efficiency, tropical pasture.

⁽¹⁾Trabalho financiado pela Fapesp. Recebido para publicação em fevereiro de 2008 e aprovado em outubro de 2008.

⁽²⁾ Pesquisador, Embrapa Cerrados, BR 020, km 18, Caixa Postal 08223, CEP 73310-970 Planaltina (DF). E-mail: gbmarta@cpac.embrapa.br

⁽³⁾ Professor Associado, Laboratório de Isótopos Estáveis, USP, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo – CENA/USP. Av. Centenário 303, CEP 13400-970 Piracicaba (SP). Bolsista CNPq. E-mail: pcoolive@cena.usp.br

⁽⁴⁾ Professor Titular, Departamento de Zootecnia, USP, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (USP/ESALQ). Caixa Postal 09, CEP 13418-900 Piracicaba (SP). E-mail: moa@esalq.usp.br

INTRODUÇÃO

Estudos recentes mostraram que até 80 % do N-ureia aplicado superficialmente em pastagens tropicais pode ser perdido do sistema solo-planta, em razão da volatilização de amônia – NH_3 (Primavesi et al., 2001; Martha Jr. et al., 2004a,b). Entretanto, também tem sido demonstrado que parte do N- NH_3 volatilizado do fertilizante ou esterco aplicados em agroecossistemas pode ser absorvida pelas folhas (Sommer et al., 1993; Ping et al., 2000). Diversos fatores interferem na absorção foliar de N- NH_3 , como o ponto de compensação de amônia na planta, a concentração de N- NH_3 na atmosfera e a área foliar da cultura.

O ponto de compensação de amônia varia com a espécie e com o estágio fisiológico da planta, mas, normalmente, esse valor é semelhante à concentração de N- NH_3 na atmosfera ($1 \text{ a } 6 \mu \text{ g m}^{-3}$; Farquhar et al., 1980). Quando a concentração de N- NH_3 na atmosfera encontra-se abaixo do ponto de compensação, os vegetais emitem esse gás para a atmosfera, e quando está acima desse ponto, as plantas absorvem amônia da atmosfera. Imediatamente depois da aplicação superficial de N-ureia em pastagens, a concentração de N- NH_3 na atmosfera pode elevar-se para níveis superiores a $1.000 \mu \text{g m}^{-3}$ nas proximidades da superfície do solo (Harper et al., 1983). Nessas situações, o potencial de absorção foliar de amônia pode aumentar, especialmente quando o índice de área foliar (IAF) é elevado (Sommer et al., 1993).

O capim-tanzânia tem sido uma das principais opções para sistemas com elevado uso de insumos, em que a aplicação de fertilizantes nitrogenados é normalmente feita de maneira superficial e a lanço e, de preferência, com ureia. Entretanto, gramíneas da espécie *P. maximum* apresentam baixo IAF logo depois do pastejo (Zimmer, 1999; Mello, 2002), fato que pode limitar a absorção do N- NH_3 volatilizado do fertilizante aplicado ao solo. A distribuição heterogênea e errática de touceiras em pastagens de capim-tanzânia (Martha Jr. et al., 2008) ainda pode prejudicar o processo de absorção de N- NH_3 quando aumenta a distância entre dreno (folhas) e fonte emissora de N- NH_3 , que impõe limites à recaptura de N- NH_3 por via foliar (Ping et al., 2000).

Este trabalho teve o objetivo de estimar, a curto prazo e em caráter exploratório, o efeito de doses de N-ureia e da distância entre o dreno e a fonte de amônia sobre a absorção foliar de N- NH_3 pelo capim-tanzânia.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em pastagem estabelecida de *P. maximum* cv. Tanzânia, no campus da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP (altitude 580 m; $22^\circ 41' 30'' \text{ S}$; $47^\circ 38' 00'' \text{ W}$).

Os protocolos experimentais basearam-se na proposta descrita por Ping et al. (2000). Entretanto, o método foi modificado para ser aplicado em pastagem de capim-tanzânia, em que as plantas encontram-se distribuídas de maneira desuniforme na área. A premissa básica foi assegurar que o N marcado na planta fosse proveniente da absorção pelas folhas e não da absorção radicular. Tal condição foi atendida pelo uso de bandejas (18,5 cm de diâmetro x 7 cm de altura), que evitaram o contato do fertilizante ^{15}N aplicado no solo contido nessas bandejas com as raízes das plantas. Cada parcela, representada por três touceiras, uma adjacente e outras duas em diferentes distâncias da fonte de amônia (uma bandeja por parcela), foi locada em um piquete de 1.333 m^2 da pastagem. Os valores médios para as distâncias da área basal dessas duas touceiras até o limite da bandeja (fonte de amônia) foram de $54 \pm 4,3$ e $71 \pm 5,1$ cm, respectivamente. Os valores correspondentes para a área de sombreamento dessas plantas foram de $27 \pm 3,2$ e $35 \pm 4,5$ cm.

Adotou-se um delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, representado por três tratamentos nas parcelas (adubações equivalentes a 40, 80 e 120 kg ha^{-1} de N-ureia) e três tratamentos nas subparcelas (distâncias médias entre a área de sombreamento das plantas, 0, 27 e 35 cm, até a fonte de N- NH_3).

O experimento começou no dia seguinte à saída dos animais do piquete (26/03/2002), no início da manhã (8 h), e continuou até as 14 h do dia 27/03/2002. As características climáticas médias durante o experimento foram: temperaturas mínima, média e máxima de 18,2, 25,3 e $32,4^\circ \text{ C}$, respectivamente; umidade relativa do ar de 82 %; evaporação de $5,0 \text{ mm dia}^{-1}$; e velocidade do vento de $5,7 \text{ km h}^{-1}$. No dia 26 não houve registro de chuva, mas no dia 27, depois do término do experimento, ocorreu uma leve chuva (6,2 mm) no final da tarde.

Foram utilizadas amostras de um Argissolo Vermelho, de textura argilosa, proveniente da camada de 0 a 20 cm da área experimental, com as seguintes características: matéria orgânica = 25 g kg^{-1} ; pH (CaCl_2) = 5,1; P (resina) = $19,1 \text{ mg dm}^{-3}$; K, Ca, Mg e $\text{H} + \text{Al}$ = 4,2, 41, 21 e 35 mmolc dm^{-3} , respectivamente. Cerca de 430 g do solo seco ao ar foram colocados em cada bandeja, e a umidade desse solo foi corrigida para a capacidade de campo, visando não limitar a volatilização de N- NH_3 . As doses de N-fertilizante (40, 80 e 120 kg ha^{-1} de N-ureia) foram estabelecidas por meio da aplicação de uma solução de ^{15}N -ureia (3 mL por bandeja) enriquecida com 5 % de átomos em excesso.

No dia 26, no final da tarde, foram avaliadas a altura média (do nível do solo à curvatura da folha mais alta da planta), por meio de regra graduada, e o IAF médio das plantas, com analisador de dossel LICOR modelo LAI 2000 (Welles & Norman, 1991). Por volta das 18h30min, as bandejas foram

acondiçoadas em sacos plásticos até a manhã do dia seguinte (± 7 h, 27/03/2002), para evitar que uma provável ocorrência de chuvas durante a noite/início da manhã provocasse a perda de solo e, ou, do N marcado da bandeja. Ao término do experimento, o solo de cada bandeja foi acidificado com 20 mL de ácido sulfúrico 1 mol L⁻¹. Depois da acidificação, os solos foram colocados em estufa com ventilação forçada de ar, a 60 °C, por 48 h. A acidificação e rápida secagem do solo visaram paralisar, rapidamente, o processo de volatilização de N-NH₃ dos solos das bandejas.

As touceiras de cada parcela foram cortadas ao nível do solo e a massa seca dessas amostras foi determinada em estufa com ventilação forçada de ar (60 °C, 72 h). As amostras de solo e da planta foram moídas (1 mm), e o N total e a abundância isotópica de ¹⁵N dessas amostras foram determinados em espectrômetro de massa ANCA SL-20 20 (Europa Scientific; Barrie & Prosser, 1996). O N proveniente do fertilizante marcado (N_{pfm}) foi calculado pela equação 1:

$$N_{pfm} = (a \div b) \times 100 \quad (1)$$

em que “a” e “b” representam o excesso de ¹⁵N (% de átomos de ¹⁵N em excesso) na planta ou solo e no fertilizante, respectivamente. Os valores-base de ¹⁵N na planta e no solo foram de 0,3663 e 0,3685 % de átomos em excesso, respectivamente.

Calculou-se a recuperação percentual de ¹⁵N (R¹⁵N) na planta, expressa em relação ao N aplicado e ao N-NH₃ volatilizado, pela equação 2. A taxa de volatilização foi calculada pela quantidade aplicada de ¹⁵N subtraída do ¹⁵N recuperado no solo:

$$R^{15}N = \{ (N_{pfm} \times \text{quantidade de N no componente}) \div \text{quantidade de N-fertilizante adubada ou volatilizada} \} \times 100 \quad (2)$$

Os dados foram testados quanto à normalidade dos erros e da homogeneidade de variâncias. As análises estatísticas foram feitas com os recursos do pacote estatístico SAS System (SAS, 1989).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No quadro 1, observa-se que as características das plantas, nos diferentes tratamentos, foram semelhantes. Os valores de IAF, que refletem o potencial das plantas em absorver o N-NH₃ da atmosfera, encontram-se dentro da faixa (0,4 a 2,6) relatada na literatura para *P. maximum* no período pós-desfolha (Zimmer, 1999; Mello, 2002). Os valores relativamente baixos de IAF podem ser explicados pela estrutura aberta da vegetação de pastagens de *P. maximum*, que reflete a alta proporção de hastes na porção inferior do dossel e a reduzida cobertura da superfície da pastagem pela área basal das plantas (Costa et al., 1992; Penati, 2002).

O aumento na dose de N-ureia (40, 80 e 120 kg ha⁻¹) determinou incrementos significativos (p < 0,0001) (Figura 1) na quantidade de N-NH₃ perdida por volatilização (17 ± 4,4; 71 ± 2,8; e 86 ± 2,4 kg ha⁻¹ de N-NH₃, respectivamente). As perdas de N-NH₃ foram superiores às relatadas em outros experimentos com pastagens tropicais (Primavesi et al., 2001; Martha Jr. et al., 2004a,b). A alta temperatura máxima média (32,4 °C) ajuda a explicar, pelo menos em parte, essas perdas elevadas.

Constatou-se, também, que o aumento na dose do fertilizante promoveu maiores perdas, como na percentagem do N aplicado, apesar de a velocidade da taxa de volatilização ter sido reduzida 2,6 vezes na amplitude de doses de N-ureia testadas (Figura 1). Contudo, uma vez que a volatilização de NH₃ pode ser linear ou exponencial, as perdas relativas (% do N aplicado) podem diminuir, permanecer constantes ou aumentar com o aumento da dose de ¹⁵N-ureia (Hargrove, 1988).

Conforme se depreende do trabalho de Sommer et al. (1993), a estrutura aberta da pastagem de capim-tanzânia não favorece a absorção foliar de N-NH₃, em razão de facilitar a perda do gás para a atmosfera e de não permitir a redução da velocidade do vento no interior da cobertura vegetal. Consequentemente, a transferência de N-NH₃ do solo/fertilizante para a atmosfera permanece elevada, diminuindo as chances de o N-NH₃ proveniente do fertilizante ser absorvido

Quadro 1. Características da pastagem de capim-tanzânia⁽¹⁾

N-ureia	Massa seca	Altura	IAF
kg ha ⁻¹	kg/touceira	cm	
40	0,57 (0,07)	46,8 (1,11)	1,10 (0,09)
80	0,46 (0,03)	49,5 (3,20)	1,03 (0,15)
120	0,40 (0,07)	45,5 (1,44)	1,03 (0,07)

⁽¹⁾ Os valores entre parênteses referem-se ao erro-padrão da média.

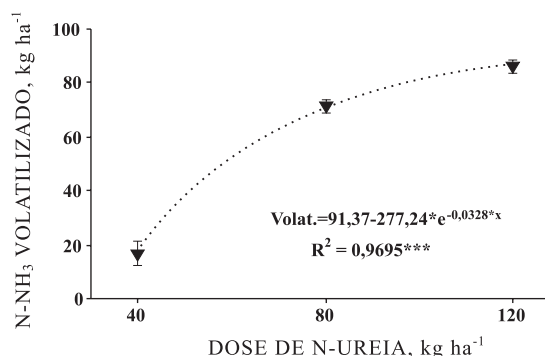


Figura 1. Quantidade de amônia volatilizada em resposta à dose de N-ureia aplicada. As barras verticais indicam o erro-padrão da média.

pelas folhas. Contudo, mesmo sob essas condições desfavoráveis, observaram-se efeitos significativos da dose de N-ureia ($p < 0,0001$) (Figura 2) e da taxa de N-NH₃ volatilizada ($p < 0,0001$) (Figura 3) sobre a absorção foliar desse gás (Quadro 2).

Não se observou efeito ($p > 0,05$) da interação entre a dose de N-ureia (ou a taxa de N volatilizado) e a distância do dreno em relação à fonte de N-NH₃. A distância entre a fonte emissora de N-NH₃ e o dreno também não determinou efeito sobre a absorção foliar de amônia ($p > 0,05$), apesar de a maior parte do N marcado proveniente do N-NH₃ volatilizado (40 a 50 %) ter sido observada nas plantas mais próximas da fonte de N-NH₃ (Quadro 2). Ping et al. (2000) mostraram diminuição da absorção foliar de amônia com o aumento na distância da fonte de N-NH₃ (zero a 2 m) 90 % da amônia proveniente da ureia foi absorvida em até 60 cm da fonte de N-NH₃. Assim, é possível que a amplitude de distâncias testadas (área de sombreamento distante até 35 cm da fonte de

amônia) não tenha sido suficiente para que o efeito da distância fosse verificado.

Os valores de absorção de N-NH₃, de 2,5 a 16,4 % do N volatilizado (Quadro 2), encontram-se dentro da faixa relatada na literatura: de 2 % a 15 % do N volatilizado (Sommer et al., 1993; Ping et al., 2000). A quantidade de N absorvido (kg ha⁻¹) não diferiu ($p > 0,05$) entre as doses de N-ureia ou entre as taxas de N-NH₃ volatilizados e, em média, 2,5 kg de N foram absorvidos (Quadro 2). Entretanto, como as avaliações não consideraram touceiras distribuídas em uma área de 360 °, não é possível calcular a quantidade de N absorvido por unidade de área. Por esse mesmo motivo, não se pode determinar se, na condição estudada, houve limites à absorção foliar de N-NH₃, em razão, por exemplo, da combinação de baixo IAF residual no período imediatamente depois do pastejo e da estrutura aberta da vegetação.

Por um lado, maior período de avaliação poderia determinar maior absorção foliar de N-NH₃, em razão

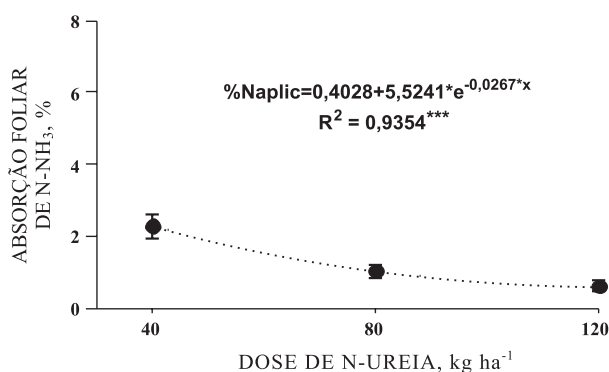


Figura 2. Absorção foliar (% N-total aplicado) pelo capim-tanzânia da amônia volatilizada em resposta à dose de N-ureia aplicada. As barras verticais indicam o erro-padrão da média.

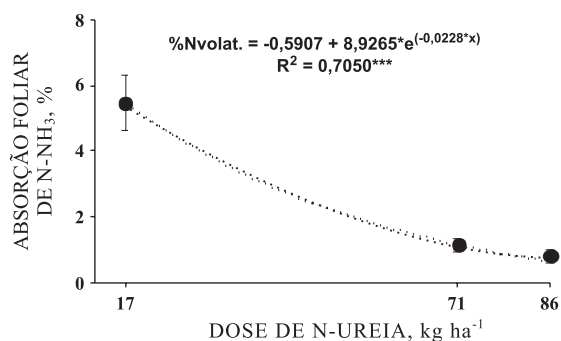


Figura 3. Absorção foliar (% N-NH₃ volatilizado) pelo capim-tanzânia da amônia volatilizada em resposta à dose de N-ureia aplicada. As barras verticais indicam o erro-padrão da média.

Quadro 2. Absorção foliar de N-NH₃ pelo capim-tanzânia em razão da dose de N-ureia e da taxa de volatilização de amônia⁽¹⁾

Dose de N ⁽²⁾ kg ha ⁻¹	Distância da fonte de N-NH ₃ (cm) ⁽³⁾			Absorção total ⁽⁴⁾	
	0	27	35	%	kg
	% do N aplicado				
40	2,69 (0,42) ⁽⁵⁾	1,85 (0,55)	2,36 (0,85)	6,90 (0,34)	2,76 (0,63)
80	1,25 (0,35)	0,60 (0,31)	1,09 (0,22)	2,94 (0,18)	2,35 (0,48)
120	0,92 (0,33)	0,43 (0,22)	0,53 (0,24)	1,88 (0,15)	2,25 (0,95)
	% do N volatilizado				
17	6,40 (1,01)	4,39 (1,31)	5,62 (2,02)	16,41 (0,81)	2,79 (0,63)
71	1,40 (0,39)	0,67 (0,34)	1,22 (0,25)	3,30 (0,20)	2,34 (0,48)
86	1,21 (0,43)	0,57 (0,29)	0,69 (0,32)	2,47 (0,20)	2,12 (0,89)

⁽¹⁾ Os valores entre parênteses representam o erro-padrão da média. ⁽²⁾ Para % do N aplicado, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N-ureia. Para % do N volatilizado, os respectivos valores foram de 17, 71 e 86 kg ha⁻¹. ⁽³⁾ Distância da área de sombreamento das plantas até o limite da fonte emissora de N-NH₃. ⁽⁴⁾ Considera a absorção de N-NH₃ em todas as três distâncias.

do aumento do IAF com o avançar do período de rebrota (Mello, 2002). Por outro lado, apesar da curta duração do experimento (i.e. 30 h), os resultados deste estudo representaram as transformações de maior magnitude relacionadas à volatilização de N-NH₃, uma vez que, depois do primeiro dia da adubação superficial com ureia em pastagens, as taxas de volatilização de NH₃ foram drasticamente reduzidas (Primavesi et al., 2001; Martha Jr. et al., 2004a,b), tendência também observada para as concentrações de N-NH₃ na atmosfera (Harper et al., 1983). Esses fatores diminuem o potencial de absorção desse gás por via foliar. Ademais, para resíduos pós-pastejo de 0,9 a 5,5 t ha⁻¹ de massa seca verde (Penati, 2002) em pastagem de capim-tanzânia, a taxa de incremento diário no IAF (1 a 33 dias de rebrota) foi de 0,1 unidade (Mello, 2002), o que deixa dúvidas quanto ao aumento potencial da capacidade da planta de absorver a amônia da atmosfera nos primeiros dias de rebrota da pastagem.

Por fim, é interessante ressaltar que mais estudos que avaliam o efeito de espécie forrageira, massa de forragem residual, taxas de volatilização de N-NH₃ inferiores a 17 kg ha⁻¹, distância entre dreno (folhas) e fonte emissora de amônia são necessários para maior entendimento do potencial dessa via de ciclagem de N em pastagens tropicais.

CONCLUSÕES

A dose de N-ureia e a quantidade de volatilização de amônia tiveram efeito sobre a absorção foliar de N-NH₃ expressa em termos percentuais (% do N aplicado ou % do N volatilizado). Contudo, quanto maior a dose de ¹⁵N-ureia ou a taxa de volatilização, menor foi o percentual de N-NH₃ absorvido pela planta forrageira. Não se constatou efeito da distância entre o dreno e a fonte de amônia sobre a absorção foliar desse gás em uma área de sombreamento distante até 35 cm do local de emissão de amônia.

LITERATURA CITADA

- BARRIE, A. & PROSSER, S.J. Automated analysis of light-elements stable isotopes by isotope ratio mass spectrometry. In: BOUTTON, T.W. & YAMASAH, S., eds. Mass spectrometry of soils. New York, Marcel Dekker, 1996. p.1-41.
- COSTA, C.; FAVORETTO, V. & MALHEIROS, E.B. Estudo da variação na estrutura da vegetação de duas cultivares de *Panicum maximum* Jacq. (Colômbio e Tobiatã) submetidas a diferentes tipos de manejo. 1. Produção e densidade de perfilhos e de matéria seca. Pesq. Agropec. Bras., 27:131-142, 1992.
- FARQUHAR, G.D.; FIRTH, P.M.; WETSELLAR, R. & WEIR, B. On the gaseous exchange of ammonia between leaves and the environment: Determination of the ammonia compensation point. Plant Physiol., 66:710-714, 1980.
- HARGROVE, W.L. Soil environmental and management factors influencing ammonia volatilization under field conditions. In: BOCK, B.R. & KISSEL, D.E., eds. Ammonia volatilization from urea fertilizers. Muscle Shoals, Tennessee Valley Authority, 1988. p.17-36. (Bulletin, Y-206)
- HARPER, L.A.; CATCHPOOLE, V.R.; DAVIS, R. & WEIR, K.L. Ammonia volatilization: Soil, plant and microclimate effects on diurnal and seasonal fluctuations. Agron. J., 75:212-218, 1983.
- MARTHA Jr., G.B.; CORSI, M.; TRIVELIN, P.C.O. & ALVES, M.C. Nitrogen recovery and loss in a fertilized elephant grass pasture. Grass Forage Sci., 59:80-90, 2004a.
- MARTHA Jr., G.B.; CORSI, M.; TRIVELIN, P.C.O.; VILELA, L.; PINTO, T.L.F.; TEIXEIRA, G.M.; MANZONI, C.S. & BARIONI, L.G. Perda de amônia por volatilização em pastagem de capim-tanzânia. R. Bras. Zootecn., 33:2240-2247, 2004b.
- MARTHA Jr., G.B.; TRIVELIN, P.C.O. & CORSI, M. Exigências do tamanho da parcela para estudos de recuperação de fertilizante-¹⁵N por capim-Tanzânia. R. Bras. Ci. Solo, 33:2008 (no prelo).
- MELLO, A.C.L. Efeito de três massas de forragem pós-pastejo em *Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia sobre a taxa fotossintética, índice de área foliar e ângulo foliar. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2002. 67p. (Tese de Doutorado)
- PENATI, M.A. Estudo do desempenho animal e produção do capim-tanzânia (*Panicum maximum* Jacq.) em um sistema rotacionado de pastejo sob irrigação em três níveis de resíduo pós-pastejo. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2002. 117p. (Tese de Doutorado)
- PING, J.; BREMER, E. & JANZEN, H.H. Foliar uptake of volatilized ammonia from surface-applied urea by spring wheat. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 31:165-172, 2000.
- PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L.A.; PRIMAVESI, A.C. & CANTARELLA, H. Adubação com ureia em pastagem de *Cynodon dactylon* cv. Coastcross sob manejo rotacionado: Eficiência e perdas. São Carlos, Embrapa Pecuária Sudeste, 2001. 42p. (Circular Técnica, 30)
- SAS Institute. SAS/STAT user's guide, version 6. 4.ed. Cary, 1989. 943p.
- 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 Agric. Scand., 43:21-24, 1993.

- WELLES, J.M. & NORMAN, J.M. Instrument for indirect measurement of canopy architecture. *Agron. J.*, 83:818-825, 1991.
- ZIMMER, A.H. Efeito de níveis de nitrogênio e de resíduos pós-pastejo sobre a produção, a estrutura e a qualidade das cultivares Aruana e Vencedor de *Panicum maximum* Jacq. Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, 1999. 208p. (Tese de Doutorado)