

# RECUPERAÇÃO DE $^{15}\text{N}$ -UREIA NO SISTEMA SOLO-PLANTA DE PASTAGEM DE CAPIM-TANZÂNIA<sup>(1)</sup>

Geraldo Bueno Martha Júnior<sup>(2)</sup>, Moacyr Corsi<sup>(3)</sup>, Paulo Cesar Ocheuze Trivelin<sup>(4)</sup> & Lourival Vilela<sup>(2)</sup>

## RESUMO

O atrativo econômico e o impacto ambiental da adubação nitrogenada em pastagens dependem da eficiência de uso do nitrogênio (N) do fertilizante no sistema solo-planta. Entretanto, a recuperação do  $^{15}\text{N}$ -ureia em pastagem de *Panicum maximum* cv. Tanzânia, uma das forrageiras mais utilizadas na intensificação de sistemas pastoris, permanece desconhecida. Este experimento, seguindo um delineamento de blocos completos casualizados, com quatro tratamentos (0, 40, 80 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N-ureia) e três repetições, foi realizado para determinar a recuperação do  $^{15}\text{N}$ -ureia pelo capim-tanzânia. A produção de forragem, o teor de N total e a quantidade de N na planta não foram afetados pelas doses de  $^{15}\text{N}$ -ureia, refletindo as elevadas perdas do N aplicado nas condições do experimento. Entretanto, a baixa eficiência agrônômica do uso da ureia pode ser explicada pelo decréscimo da recuperação do N do fertilizante no sistema solo-planta com o aumento da dose de  $^{15}\text{N}$ -ureia em situações climáticas bastante adversas, que contribuíram para aumentar as perdas de  $^{15}\text{N}$ -ureia no sistema solo-planta.

**Termos de indexação:** adubação nitrogenada, manejo do nitrogênio, sistema pastoril.

---

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

<sup>(2)</sup> Pesquisador, Embrapa Cerrados. BR 020, km 18, Caixa Postal 08223, CEP 73310-970 Planaltina (DF). E-mails: gbmarta@cpac.embrapa.br; lvilela@cpac.embrapa.br

<sup>(3)</sup> Professor Titular do 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

<sup>(4)</sup> Professor Associado do Laboratório de Isótopos Estáveis, USP, Centro de Energia Nuclear na Agricultura – USP/CENA. Caixa Postal 96, CEP 13400-970 Piracicaba (SP). Bolsista CNPq. E-mail: pcoatrive@cena.usp.br

## SUMMARY: RECOVERY OF $^{15}\text{N}$ -UREA IN SOIL-PLANT SYSTEM OF TANZANIA GRASS PASTURE

The economic attractiveness and negative environmental impact of nitrogen (N) fertilization in pastures depend on the N use efficiency in the soil-plant system. However, the recovery of urea- $^{15}\text{N}$  by *Panicum maximum* cv. Tanzania pastures, one of the most widely used forage species in intensified pastoral systems, is still unknown. This experiment was conducted in a randomized complete block design with four treatments (0, 40, 80 and 120 kg ha<sup>-1</sup> of N-urea) and three replications, to determine the recovery of  $^{15}\text{N}$  urea by Tanzania grass. Forage production, total N content and N yield were not affected by fertilization ( $p > 0.05$ ), reflecting the high losses of applied N under the experimental conditions. The recovery of  $^{15}\text{N}$  urea (% of applied N) in forage and roots was not affected by fertilization levels ( $p > 0.05$ ), but decreased exponentially in the soil and soil-plant system ( $p < 0.05$ ) with increasing urea doses. The amount of  $^{15}\text{N}$  (kg ha<sup>-1</sup>) in forage and roots (15 to 30 cm) increased with increasing urea doses ( $p < 0.05$ ).

*Index terms:* nitrogen fertilization, nitrogen management, pastoral system.

## INTRODUÇÃO

Diversos estudos comprovaram que a adubação nitrogenada pode aumentar sensivelmente a produção de forragem de capins tropicais, como o *P. maximum* (Vicente-Chandler et al., 1974; Crespo, 1986; Martha Jr. et al., 2007). Entretanto, a economicidade e o impacto ambiental dessa prática dependem, em última análise, da eficiência de uso do N do fertilizante pela planta.

Em pastagens de gramíneas tropicais, a recuperação média do nitrogênio do fertilizante (medida por meio do  $^{15}\text{N}$ -fertilizante) na parte aérea, no sistema radicular + solo e no sistema solo-planta, é de 29, 39 e 72 %, respectivamente (Martha Jr. et al., 2007). Essa grande amplitude demonstra a eficiência de uso do N-fertilizante e das características de solo e do clima, que interferem na capacidade de resposta da planta forrageira à adubação e no comportamento do fertilizante nitrogenado no sistema solo-planta.

Pelo lado econômico, é importante considerar que os custos de produção vêm crescendo, o que coloca em risco a capacidade do pecuarista de investir em tecnologias. Entre março de 2006 e março de 2008, o preço da ureia aumentou 37 % em termos reais (Martha Jr. & Vilela, 2008) ante uma relativa manutenção no preço da arroba do boi gordo. Pelo lado ambiental, deve-se considerar a elevada demanda energética na fabricação de N-ureia, na amplitude de 65 a 79,5 MJ kg<sup>-1</sup> N (Wells, 2001), além do potencial de emissão de equivalente C, da ordem de 0,9 a 1,8 kg por kg de N (Lal, 2004). Assim, a importância de se aprimorarem os conhecimentos sobre a dinâmica do N do fertilizante em sistemas pastoris está na necessidade de garantir elevada rentabilidade ao mesmo tempo em que se precisa assegurar que os

recursos e a qualidade do solo, da água e da atmosfera não sejam prejudicados pelas práticas agrícolas, como a adubação nitrogenada de pastagens.

Quando informações mais detalhadas sobre o movimento e transformações do N do fertilizante na planta forrageira e no solo são o objetivo do estudo e, ou, não há a possibilidade de se trabalhar com um tratamento controle (sem adubação nitrogenada), a estimativa da recuperação do N aplicado pelo método isotópico passa a ser uma opção mais interessante do que aquela feita pelo método aparente. Todavia, até o momento, poucos experimentos de campo foram realizados com gramíneas tropicais e fertilizante- $^{15}\text{N}$  (Harper et al., 1983; Impithuksa et al., 1984; Impithuksa & Blue, 1985; Oliveira et al., 2003; Martha Jr. et al., 2004a). Ademais, ainda não há estudos com fertilizante- $^{15}\text{N}$  em pastagem de *P. maximum* cv. Tanzânia, uma das principais opções forrageiras para sistemas de produção animal com elevado uso de insumos no Brasil. Nesse contexto, este estudo teve o objetivo de estimar, em ciclo de pastejo de verão, a recuperação de  $^{15}\text{N}$ -ureia no sistema solo-planta de pastagem de capim-tanzânia.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em pastagem irrigada de *P. maximum* cv. Tanzânia, estabelecida em área experimental da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP (altitude de 580 m; 22 ° 41' 30" S; 47 ° 38' 00" W), durante um ciclo de pastejo de verão (6/01/2002 a 11/02/2002). O delineamento experimental foi em blocos completos casualizados, com quatro tratamentos (0, 40, 80 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N-ureia) e três repetições.

As características climáticas médias, durante o período experimental, podem ser descritas por: temperaturas mínima, média e máxima de 19,0, 24,2 e 29,5 °C, respectivamente; umidade relativa do ar de 87,4 %; evaporação de 5,4 mm dia<sup>-1</sup>; e velocidade do vento de 6,3 km h<sup>-1</sup>. No período experimental, as chuvas totalizaram 411 mm, valor três vezes superior ao da média projetada para esse intervalo. Durante o experimento, a umidade do solo, na camada de 0 a 20 cm de profundidade, ficou entre 90 e 105 % da capacidade de campo. Por ocasião da aplicação dos tratamentos (doses de <sup>15</sup>N-ureia), verificou-se que, na superfície, o solo mostrava-se encharcado (presença de poças d'água).

O solo da área experimental, classificado como Argissolo Vermelho argiloso, apresentava 33 % de areia, 23 % de silte e 44 % de argila na camada de 0–20 cm de solo. A saturação por bases e os outros elementos minerais no solo foram corrigidos para os níveis sugeridos por Corsi & Nussio (1993), com base na análise química do solo. A correção e a adubação do solo foram feitas para atingir 70 % de saturação por bases, 20 mg dm<sup>-3</sup> de P (resina) no solo e proporção de K no solo equivalente a 4 a 5 % da CTC. As características químicas do solo (0 – 20 cm) podem ser descritas por: matéria orgânica = 25 g kg<sup>-1</sup>; pH (CaCl<sub>2</sub>) = 5,1; P (resina) = 19,1 mg dm<sup>-3</sup>; K<sup>+</sup> = 4,2 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Ca<sup>2+</sup> = 41 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg<sup>2+</sup> = 21 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; (H + Al) = 35 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>.

Parcelas não confinadas de 1 x 1 m, apresentando uma touceira do capim em seu centro geométrico, foram aleatoriamente locadas em um piquete de 1.333 m<sup>2</sup>. O manejo da pastagem consistiu de três dias de ocupação e 33 dias de descanso, sendo o resíduo pós-pastejo de cerca de 3.500 kg ha<sup>-1</sup> de massa verde (sem material senescente) seca. Para assegurar a distribuição uniforme do fertilizante, o <sup>15</sup>N-ureia, de acordo com os tratamentos, foi aplicado à parcela por meio de solução (500 mL da solução contendo o fertilizante seguida por mais 500 mL de água) na manhã do dia subsequente à saída dos animais do piquete.

Nas touceiras, que representaram a área vegetada da pastagem, estudou-se o efeito de doses crescentes de N-ureia sobre a recuperação do fertilizante-<sup>15</sup>N. No final do período de rebrota (30 dias depois da adubação nitrogenada), os seguintes componentes da pastagem foram avaliados: estrato superior (parte aérea); resíduo pós-pastejo; sistema radicular; e solo nas camadas de 0 a 15 e 15 a 30 cm de profundidade. O estrato superior correspondeu à forragem cortada acima de 40 cm do solo, que representava a altura média do resíduo por ocasião da saída dos animais da área experimental. A forragem do nível do solo à altura de 40 cm representou o resíduo pós-pastejo. No momento do corte da forragem, avaliou-se, em cada parcela, o sistema radicular das plantas. A massa seca de todos os componentes da forragem foi determinada em estufa com ventilação forçada de ar (60°, 72 h) e os

valores resultantes foram expressos em kg ha<sup>-1</sup> de massa seca. Adicionalmente, a altura das plantas, do nível do solo até a inflexão da folha mais alta, foi medida depois de 1, 6, 10 e 30 dias da adubação.

Em cada um desses componentes do sistema solo-planta, foram determinados o teor de N total e a abundância isotópica de <sup>15</sup>N em espectrômetro de massa automatizado para análise de C e N (ANCA SL-20 20, Europa Scientific; Barrie & Prosser, 1996). O produto entre a massa seca do componente e o seu respectivo valor de N total representou a quantidade de N (QN, kg ha<sup>-1</sup>). O N proveniente do fertilizante marcado (Np<sub>fm</sub>) foi calculado pela equação 1:

$$Np_{fm} = (a \div b) \times 100 \quad (1)$$

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

A quantidade do <sup>15</sup>N-ureia recuperada num dado componente (R<sup>15</sup>N) considerou os valores de R<sup>15</sup>N e a dose de <sup>15</sup>N-ureia aplicada:

$$R^{15}N = \left\{ \frac{Np_{fm} \times QN \text{ no componente}}{\text{dose de N-fertilizante}} \right\} \times 100 \quad (2)$$

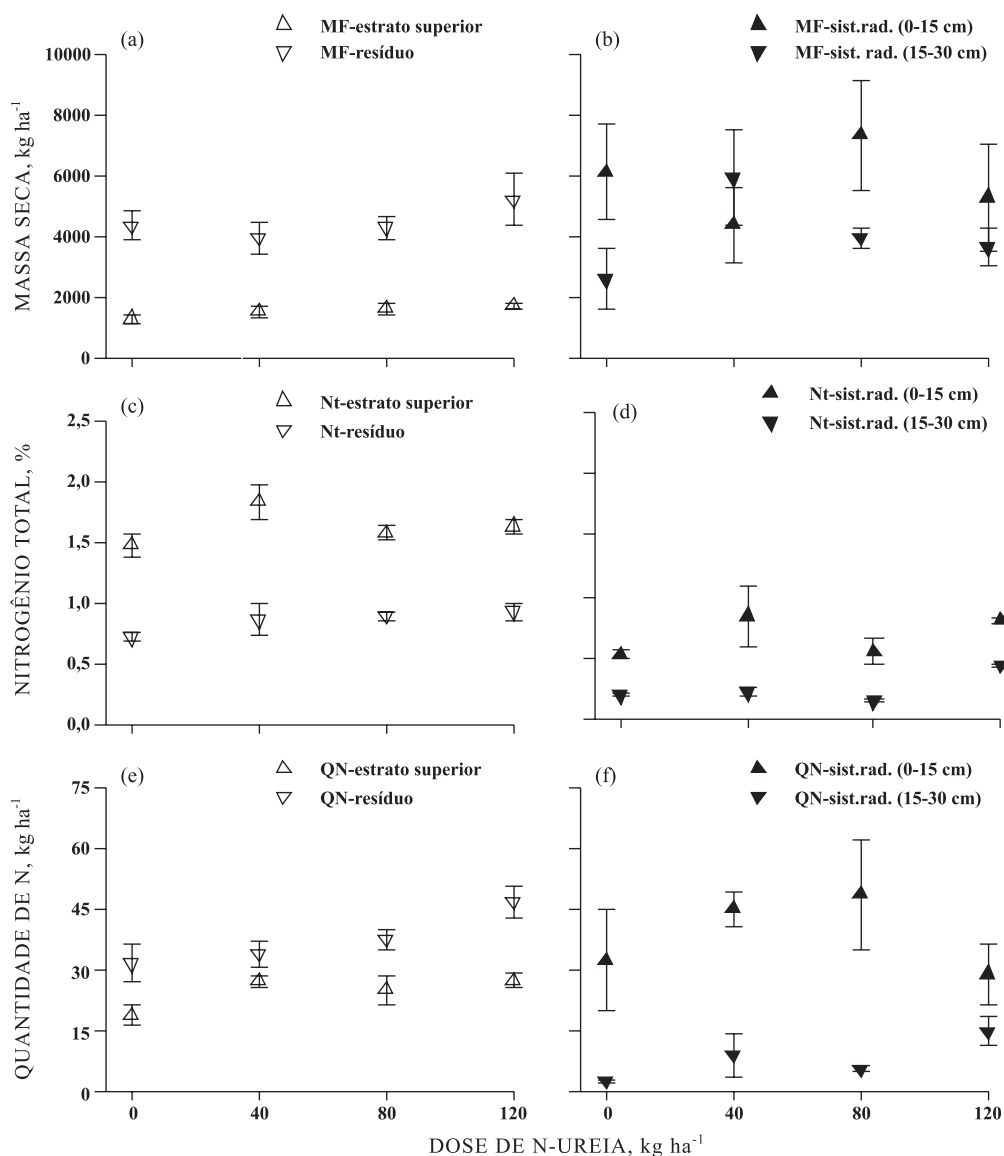
A recuperação aparente do N aplicado foi determinada pela diferença do N absorvido entre as plantas de parcelas adubadas e não-adubadas em relação a uma dose de N-fertilizante.

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

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A adubação nitrogenada não teve efeito sobre a produção de massa da matéria seca da parte aérea e do sistema radicular ( $p > 0,05$ ; Figura 1a,b), contrariando as informações da literatura de que a aplicação de N promove acréscimos na massa da matéria seca de *P. maximum* (Vicente-Chandler et al., 1974; Crespo, 1986; Martha Jr. et al., 2007). Esse fato explica a ausência de resposta na altura das plantas em razão das diferentes doses de <sup>15</sup>N-ureia ( $p > 0,05$ ). Entretanto, a altura da pastagem aumentou em taxas decrescentes ao longo do período de rebrota ( $p < 0,05$ ; Figura 2), refletindo a disposição decumbente das folhas do capim-tanzânia (Jank et al., 1995).

O uso de fertilizante nitrogenado não alterou o teor de N total ou a quantidade de N na planta ( $p > 0,05$ ; Figura 1c,d,e,f), o que também não era esperado (Vicente-Chandler et al., 1974; Crespo, 1986). A baixa



**Figura 1.** Produção de massa seca de forragem (MF), teor de N total (Nt) e quantidade de N (QN) na parte aérea (estrato superior e resíduo pós-pastejo) e no sistema radicular (profundidades de 0-15 e 15-30 cm) de capim-tanzânia adubado com 0, 40, 80 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N-ureia. As barras verticais indicam o erro-padrão da média.

eficiência agrônômica da ureia pode ser atribuída às elevadas perdas do N aplicado (Martha Júnior et al., 2004b), fato corroborado pela baixa recuperação de <sup>15</sup>N-ureia no sistema solo-planta, principalmente com as maiores doses de <sup>15</sup>N-ureia (Figuras 3 e 4).

A recuperação do <sup>15</sup>N no sistema solo-planta foi 2,88 vezes maior quando foi aplicada a dose de N de 40 kg ha<sup>-1</sup> (82,2 %) em relação à dose de 120 kg ha<sup>-1</sup> (28,5 %). Tomando como referência a dose de 40 kg ha<sup>-1</sup> de N-ureia, calcula-se, pela derivada segunda da equação apresentada na figura 3d, que, no intervalo de adubação testado, a taxa de redução na recuperação do <sup>15</sup>N-ureia no sistema solo-planta foi de quatro vezes. Tal comportamento, que justifica a falta de resposta na produção de forragem, no teor de N total e na

quantidade de N na planta às doses crescentes de ureia (Figura 1), sinaliza grau elevado de ineficiência da adubação com ureia em pastagem quando as condições climáticas mostram-se bastante adversas, a exemplo do verificado durante o período experimental (elevada temperatura e elevado teor de umidade no solo).

Quando a recuperação do N-ureia foi expressa em termos do percentual do N aplicado, não se verificou efeito ( $p > 0,05$ ) da dose de N-ureia sobre a recuperação do fertilizante-<sup>15</sup>N na parte aérea (estrato superior e resíduo pós-pastejo) e no sistema radicular (0 a 15 e 15 a 30 cm) (Figura 3a,b). A ausência de efeito da dose do fertilizante nitrogenado sobre a recuperação percentual do fertilizante-<sup>15</sup>N na biomassa vegetal também foi constatada por Henzell (1971), Impithuksa

et al. (1984) e Impithuksa & Blue (1985). Todavia, o aumento na dose de ureia determinou maiores ( $p < 0,05$ ) quantidades de <sup>15</sup>N (kg ha<sup>-1</sup>) na parte aérea e no sistema radicular (camada de 15 a 30 cm) da pastagem, porém esses acréscimos foram de pequena magnitude (Figura 4a,b).

Ressalta-se que a recuperação percentual de <sup>15</sup>N foi inferior à relatada nos experimentos com pastagens tropicais. Revisão feita por Martha Jr. (2003) sobre a recuperação de fertilizante-<sup>15</sup>N na parte aérea de

gramíneas tropicais revelou valores médios de recuperação de 30 % do N aplicado – cerca de cinco vezes superior aos indicados na figura 3a.

Desse modo, parece que a planta não teve condições apropriadas para absorver o N do fertilizante e translocá-lo para a parte aérea. Possivelmente, a baixa recuperação de <sup>15</sup>N na biomassa vegetal foi consequência: (1) das elevadas perdas do N aplicado que aconteceram nos primeiros dias depois da adubação (Martha Jr. et al., 2004b), que reduziram a quantidade do N proveniente do fertilizante no solo passível de ser absorvido pelas plantas; e (2) da elevada competição pelo N-mineral que há entre os microrganismos do solo e as plantas, especialmente no curto prazo (Hodge et al., 2000), o que prejudica, ainda mais, a capacidade da planta em absorver o N disponível do solo. Não se pode descartar, no entanto, que o efeito residual das adubações nitrogenadas realizadas nos ciclos de pastejo anteriores, na área experimental, da ordem de 800 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N, tenha diminuído a eficiência de resposta da planta ao N aplicado no pasto, a exemplo do que tem sido verificado na integração lavoura-pecuária, no primeiro ano depois da fase de elevada produtividade (Martha Jr. et al., 2007).

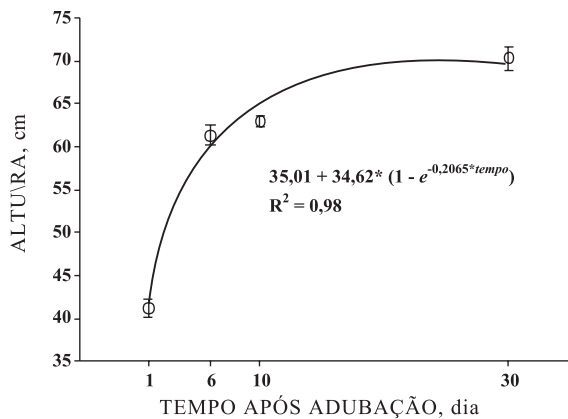


Figura 2. Altura da pastagem como variável dependente de doses de <sup>15</sup>N-ureia e do tempo após a adubação. Os coeficientes da equação apresentada são significativos ( $p < 0,0001$ ). As barras verticais indicam o erro-padrão da média.

Westerman & Kurtz (1974) e Rao et al. (1992) indicaram que a estimativa de recuperação aparente do N aplicado é maior do que aquela obtida pelo uso do traçador <sup>15</sup>N. Esse fato reflete a pressuposição, do método de recuperação aparente, de que os processos fisiológicos das plantas e as transformações do N no

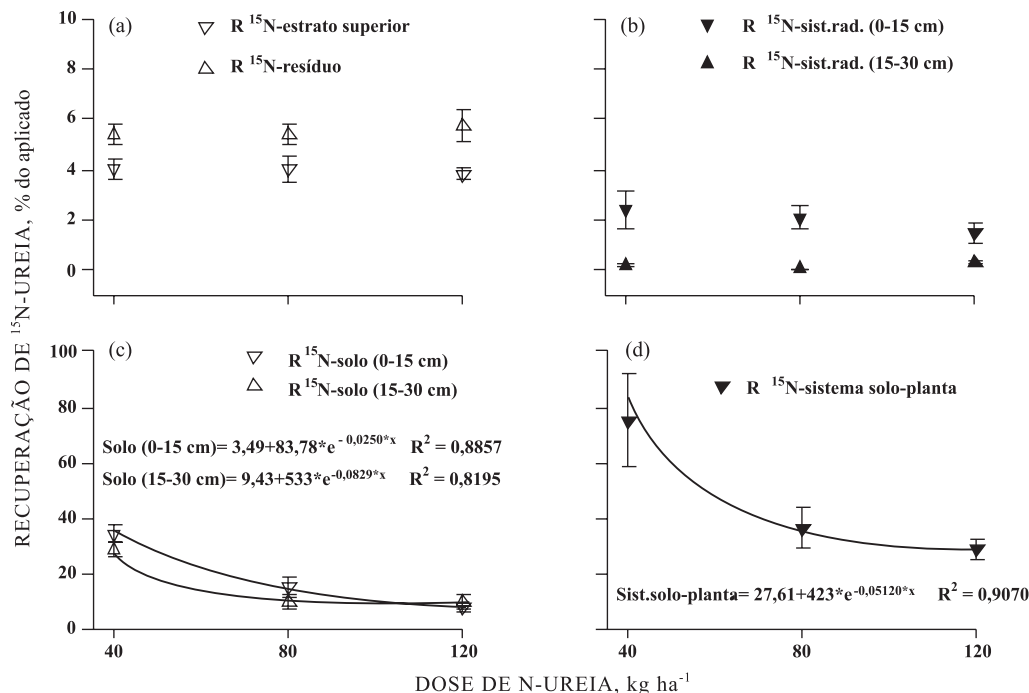
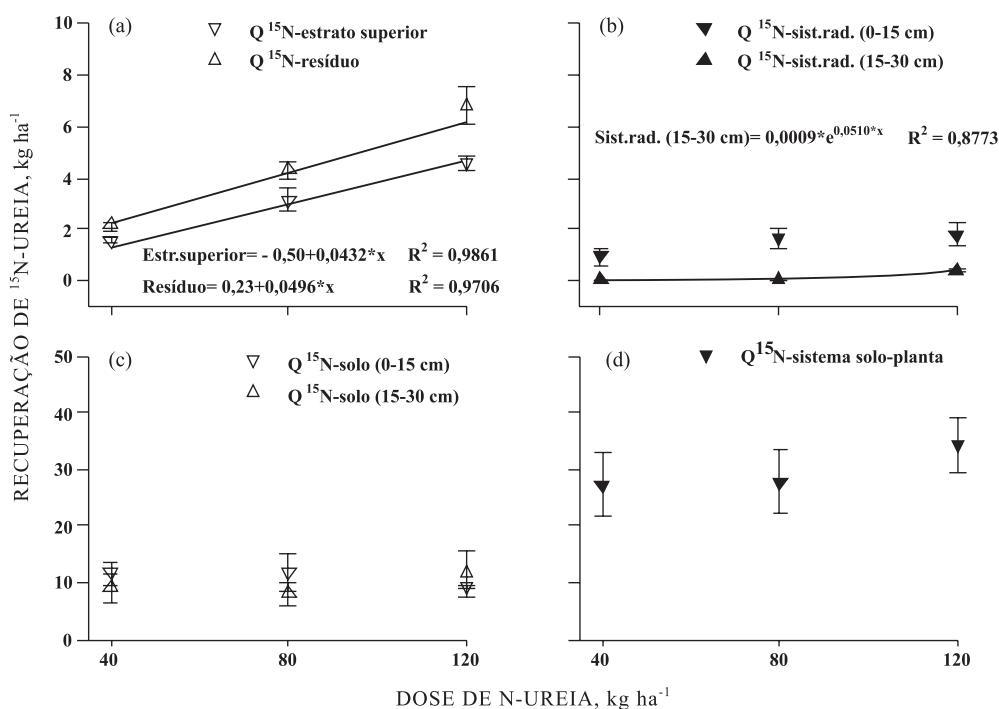


Figura 3. Recuperação de <sup>15</sup>N-ureia (% do N aplicado) nos componentes da pastagem de capim-tanzânia adubada com 40, 80 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N-ureia. Os coeficientes das equações apresentadas são significativos ( $p < 0,05$ ). As barras verticais indicam o erro-padrão da média.



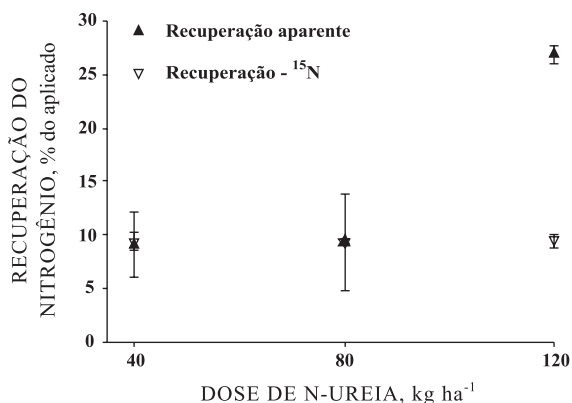
**Figura 4. Recuperação de  $^{15}\text{N-ureia}$  ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) nos componentes da pastagem de capim-tanzânia adubada com 40, 80 e 120  $\text{kg ha}^{-1}$  de N-ureia. Os coeficientes das equações apresentadas são significativos ( $p < 0,001$ ). As barras verticais indicam o erro-padrão da média.**

solo são similares na presença e ausência de adubação, o que não é verdade (Jenkinson et al., 1985; Hart et al., 1986). Entretanto, apenas na dose de 120  $\text{kg ha}^{-1}$  de N-ureia observaram-se diferenças nas estimativas de recuperação do N na parte aérea por esses dois métodos (Figura 5). A maior exatidão na estimativa de recuperação do N aplicado, pelo método isotópico (Figura 5), encontra suporte nos trabalhos de Westerman & Kurtz (1974) e Rao et al. (1992).

A dose do fertilizante nitrogenado teve efeito significativo ( $p < 0,05$ ) sobre a recuperação de  $^{15}\text{N}$  no componente solo. Na amplitude das doses testadas, e tendo como referencial a dose de 40  $\text{kg ha}^{-1}$ , calcula-se, pela derivada segunda das equações apresentadas na figura 3c, que o aumento na adubação nitrogenada promoveu taxa de redução de 2 e de 6,6 vezes na recuperação de  $^{15}\text{N-ureia}$  nas camadas de 0 a 15 e 15 a 30 cm de solo, respectivamente. Entretanto, a quantidade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de N-fertilizante no solo não diferiu nas adubações com 40, 80 e 120  $\text{kg ha}^{-1}$  de N-ureia (Figura 4c).

Por um lado, a aplicação de  $^{15}\text{N-ureia}$  dissolvida em água pode acelerar o processo de perda de N em relação à aplicação do fertilizante na forma sólida. Por outro lado, em adição às perdas de amônia por volatilização (Martha Jr. et al., 2004b), o decréscimo na recuperação do fertilizante- $^{15}\text{N}$  no solo, nas maiores doses do fertilizante (Figura 3c), pode ter sido o resultado de incrementos nas perdas por desnitrificação e por lixiviação para camadas mais profundas de solo

do que a estudada (até 30 cm), em decorrência dos elevados níveis de chuvas (411 mm) no período. Ressalte-se, porém, que parte do  $^{15}\text{N-ureia}$  perdido da camada superficial do solo pode ser absorvida pela planta forrageira em camadas mais profundas do solo (Bartholomew, 1971). Adicionalmente, parte da amônia volatilizada pode ser reabsorvida por via foliar (Martha Jr., 2003).



**Figura 5. Estimativa da recuperação percentual do nitrogênio aplicado na parte aérea de capim-tanzânia adubado, com 40, 80 e 120  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $^{15}\text{N-ureia}$ , pelos métodos aparente e isotópico. As barras verticais indicam o erro-padrão da média.**

## CONCLUSÕES

A produção de forragem, o teor de N total e a quantidade de N do capim-tanzânia não foram afetados pela adubação nitrogenada. A baixa eficiência agrônômica do uso da ureia pode ser explicada pelo decréscimo da recuperação do N do fertilizante no sistema solo-planta com o aumento da dose de <sup>15</sup>N-ureia em situações climáticas bastante adversas, que contribuíram para aumentar as perdas de <sup>15</sup>N-ureia no sistema solo-planta.

## 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.
- BARTHOLOMEW, W.V. <sup>15</sup>N in research on the availability and crop use of nitrogen. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY – IAEA. Nitrogen-15 in soil-plant studies. Viena, 1971. p.1-20.
- CORSI, M. & NUSSIO, L.G. Manejo do capim-elefante: Correção e adubação do solo. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DA PASTAGEM, 10., Piracicaba, 1992. Anais. Piracicaba, FEALQ, 1993. p.87-115.
- CRESPO, G. Variation in the response of tropical pastures to nitrogenous fertilizers throughout the year. 3. Guinea grass (*Panicum maximum* Jacq.) with irrigation. Cuban J. Agric. Sci., 20:73-81, 1986.
- 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.
- HART, P.B.S.; RAYNER, J.H. & JENKINSON, D.S. Influence of pool substitution on the interpretation of fertilizer experiments with <sup>15</sup>N. J. Soil Sci., 37:389-403, 1986.
- HENZELL, E.F. Recovery of nitrogen from four fertilizers applied to Rhodes grass in small plots. Austr. J. Exper. Agric. Anim. Husb., 11:420-430, 1971.
- HODGE, A.; ROBINSON, D. & FITTER, A. Are microorganisms more effective than plants at competing for nitrogen? Trends Plant Sci., 5:304-308, 2000.
- IMPITHUKSA, V. & BLUE, W.G. Fertilizer nitrogen and nitrogen-15 in three warm-season grasses grown on a Florida Spodosol. Soil Sci. Soc. Am. J., 49:1201-1204, 1985.
- IMPITHUKSA, V.; BLUE, W.G. & GRAETZ, D.A. Distribution of applied nitrogen in soil-pensacola bahiagrass components as indicated by nitrogen-15. Soil Sci. Soc. Am. J., 48:1280-1284, 1984.
- JANK, L. Melhoramento e seleção de variedades de *Panicum maximum*. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DA PASTAGEM, 12., Piracicaba, 1995. Anais. Piracicaba, FEALQ, 1995. p.21-58.
- JENKINSON, D.S.; FOX, R.H. & RAYNER, J.H. Interactions between fertilizer nitrogen and soil nitrogen – the so-called “priming effect”. J. Soil Sci., 36:425-444, 1985.
- LAL, R. Carbon emission from farm operations. Environ. Intern., 30:981-990, 2004.
- MARTHA Jr., G.B. Produção de forragem e transformações do nitrogênio do fertilizante em pastagem irrigada de capim Tanzânia. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2003. 149p. (Tese de Doutorado).
- 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. Zootec., 33:2240-2247, 2004b.
- MARTHA Jr., G.B.; VILELA, L. & SOUSA, D.M.G. Adubação nitrogenada. In: MARTHA Jr., G.B.; VILELA, L. & SOUSA, D.M.G., eds. Cerrado: Uso eficiente de corretivos e fertilizantes em pastagens. Planaltina, Embrapa Cerrados, 2007. p.117-144.
- MARTHA Jr., G.B. & VILELA, L. Eficiência de uso de fertilizantes na integração lavoura-pecuária no Cerrado. R. Política Agric., 17:92-93, 2008.
- OLIVEIRA, P.P.A.; TRIVELIN, P.C.O. & OLIVEIRA, W.S. Eficiência da fertilização nitrogenada com ureia (<sup>15</sup>N) em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu associada ao parcelamento de superfosfato simples e cloreto de potássio. R. Bras. Ci. Solo, 27:613-620, 2003.
- RAO, A.C.S.; SMITH, J.L.; PARR, J.F. & PAPENDICK, R.I. Considerations in estimating nitrogen recovery efficiency by the difference and isotopic dilution methods. Nutr. Cycl. Agroecosyst, 33:209-217, 1992.
- SAS Institute. SAS/STAT user's guide, version 6. 4.ed. Cary, 1989. 943p.
- VICENTE-CHANDLER, J.; ABRUÑA, F.; CARO-COSTAS, R.; FIGARELLA, J.; SILVA, S. & PEARSON, J.W. Intensive grassland management in the humid tropics of Puerto Rico. Rio Piedras, University Puerto Rico, 1974. 164p. (Bulletin, 233).
- WELLS, C. Total energy indicators of agricultural sustainability: Dairy farming case study. Wellington, University of Otago, 2001. 81p. (Technical Paper 2001/3)
- WESTERMAN, R.L. & KURTZ, L.T. Isotopic and nonisotopic estimations of fertilizer nitrogen uptake by sudangrass in field experiments. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 38:107-109, 1974.