

TAMANHO DA PARCELA PARA ESTUDOS DE RECUPERAÇÃO DE FERTILIZANTE-¹⁵N POR CAPIM-TANZÂNIA⁽¹⁾

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

RESUMO

O entendimento da dinâmica do N em ecossistemas de pastagens pode ser melhorado por estudos em que se utilize a técnica do traçador ¹⁵N. Nesses experimentos, deve-se assegurar que o movimento lateral do traçador não interfira nos resultados. Neste trabalho foram determinadas as exigências quanto ao tamanho da parcela para experimentos com ¹⁵N em pastagem irrigada de *Panicum maximum* cv. Tanzânia. Foram consideradas três intensidades de pastejo (leniente, moderada e intensa) em três épocas do ano: inverno, primavera e verão. Parcelas de 1 m², com uma touceira do capim ao centro, foram adequadas, independentemente da intensidade de desfolha ou da época do ano. O aumento na distância da área adubada com ¹⁵N influenciou negativamente a quantidade de N proveniente do fertilizante (N_{pfm}) recuperado na forragem. As menores taxas de declínio nos valores de N_{pfm} foram observadas para as intensidades de pastejo leniente e moderada; esse fato pode ser explicado pelas características de crescimento vigoroso dessas plantas. O aumento na intensidade de pastejo determinou a redução na massa da touceira: quanto menor a touceira, maior a sua dependência do N do fertilizante.

Termos de indexação: ciclagem de nitrogênio, eficiência de uso do nitrogênio, irrigação, manejo da pastagem, pastagem tropical.

⁽¹⁾ Trabalho financiado pela Fapesp. Recebido para publicação em fevereiro de 2008 e aprovado em janeiro de 2009.

⁽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 – USP/CENA. Caixa Postal 96, CEP 13400-970 Piracicaba (SP). Bolsista CNPq. E-mail: pco@trive@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

SUMMARY: PLOT-SIZE FOR ¹⁵N-FERTILIZER RECOVERY STUDIES BY TANZANIA-GRASS

The understanding of the N dynamics in pasture ecosystems can be improved by studies using the ¹⁵N tracer technique. However, in these experiments it must be ensured that the lateral movement of the labeled fertilizer does not interfere with the results. In this study the plot-size requirements for ¹⁵N-fertilizer recovery experiments with irrigated Panicum maximum cv. Tanzania was determined. Three grazing intensities (light, moderate and intensive grazing) in the winter, spring and summer seasons were considered. A 1 m² plot-size, with a grass tussock in the center, was adequate, irrespective of the grazing intensity or season of the year. Increasing the distance from the area fertilized with ¹⁵N negatively affected the N derived from fertilizer (Np_{fm}) recovered in herbage. The lowest decline in Np_{fm} values were observed for moderate and light grazing intensities. This fact might be explained by the vigorous growth characteristics of these plants. Increasing the grazing intensity decreased the tussock mass and, the smaller the tussock mass, the greater was the dependence on fertilizer nitrogen.

Index terms: irrigation, nitrogen cycling, nitrogen use efficiency, tropical pasture, grazing management.

INTRODUÇÃO

Experimentos em laboratório ou casa de vegetação têm sido utilizados em estudos básicos sobre ciclagem e transformações do N. No entanto, é questionável se as conclusões de experimentos nessas condições podem ser extrapoladas para plantas que crescem no campo, em razão de: diferenças na morfologia e fisiologia da parte aérea e raízes de plantas que crescem no campo e em laboratório/casa de vegetação; e flutuações nas características de ambiente experimentadas no campo. Portanto, quando o objetivo do experimento é ter aplicabilidade prática, como a avaliação da recuperação do N-fertilizante pelas plantas forrageiras, é necessário desenvolver experimentos sob condições mais realistas, o que requer ensaios em campo (Powlson & Barraclough, 1993).

Experimentos de campo com fertilizante-¹⁵N podem utilizar parcelas confinadas ou parcelas sem barreiras físicas (p.ex., parcelas não confinadas ou “parcelas de campo”). Parcelas confinadas são interessantes porque facilitam a mais completa contabilização do N em estudos de balanço de ¹⁵N. Ademais, evitam os problemas associados ao movimento lateral do ¹⁵N, independentemente de esse movimento ocorrer por fluxo de massa, por difusão no solo ou por translocação nos tecidos da planta (Powlson & Barraclough, 1993). Entretanto, a colocação de barreiras no solo para confinar as parcelas pode introduzir condições artificiais no sistema solo-planta, que, em última análise, influenciam a recuperação do N do fertilizante pelas plantas forrageiras (Sanchez et al., 1987; Powlson & Barraclough, 1993; Trivelin et al., 1994).

A maior parte dos experimentos que utilizaram fertilizante-¹⁵N em pastagens tropicais valeu-se de parcelas confinadas. Dois experimentos com *Chloris*

gayana (capim-de-rodos), no entanto, usaram parcelas de campo sem área de descarte (Henzell, 1971; Vallis et al., 1973). Essa abordagem é aceitável para experimentos com plantas de porte pequeno, como o capim-de-rodos, porém o custo de ¹⁵N para plantas de porte maior ou que se apresentam mais espaçadas no campo, como as da espécie *P. maximum*, pode ser proibitivo, mesmo considerando o uso de fertilizante marcado com baixo enriquecimento em ¹⁵N (< 2 a 3 % de átomos em abundância).

Uma segunda opção para parcelas de campo seriam parcelas com área de descarte. O ideal seria aplicar o ¹⁵N em uma área grande em comparação ao porte e espaçamento das plantas no campo e proceder à amostragem apenas no centro dessa área (Powlson & Barraclough, 1993). Essa prática tem gerado resultados positivos para diversas culturas, como o milho (Sanchez et al., 1987) e a cana-de-açúcar (Trivelin et al., 1994), e também para forrageiras de porte pequeno, como o *Lolium perenne* (Geens et al., 1991). Entretanto, para plantas de maior porte, que se apresentam espaçadas no campo, pode ser que seja possível adubar apenas uma planta (ou touceira) com ¹⁵N (Powlson & Barraclough, 1993).

Em razão das dificuldades experimentais de se trabalhar com plantas de maior porte, como *Panicum maximum*, seria particularmente interessante que estudos com essas espécies forrageiras considerassem o tamanho mínimo adequado da parcela, em diferentes épocas do ano e condições de manejo do pastejo, para evitar o efeito de bordadura. Nesse contexto, o presente experimento foi delineado para determinar o tamanho adequado da parcela em experimentos com capim-tanzânia adubado com fertilizante-¹⁵N, manejado sob três intensidades de desfolha e considerando diferentes épocas do ano.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em pastagem estabelecida de *P. maximum* cv. Tanzânia, 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) (Quadro 1). O solo, um Argissolo Vermelho textura argilosa, apresentava 33 % de areia, 23 % de silte e 44 % de argila, sendo as características químicas da camada superficial (0–20 cm): pH CaCl₂ = 5,2; matéria orgânica = 24 g dm⁻³; P (resina) = 17 mg dm⁻³; K⁺ = 3,9 mmol_c dm⁻³; Ca²⁺ = 44 mmol_c dm⁻³; Mg²⁺ = 16 mmol_c dm⁻³; Al³⁺ = 1 mmol_c dm⁻³; e H + Al = 38 mmol_c dm⁻³.

A pastagem foi irrigada por pivô central para que o solo atingisse a capacidade de campo quando tensiômetros instalados na profundidade de 20 cm indicassem potencial de água no solo de -0,03 a -0,04 MPa (Lourenço & Coelho, 2000).

Os tratamentos foram representados por três intensidades de pastejo, medidas pela massa de forragem residual. No inverno, os resíduos pós-pastejo foram de 816, 2.548 e 3.113 kg ha⁻¹ de matéria seca verde (MSV) nos pastejos intenso, moderado e leniente (leve), respectivamente. Na primavera e no verão, as respectivas massas de forragem residuais foram de 1.210, 3.036 e 5.471 kg ha⁻¹ de MSV (Penati, 2002). Adotou-se um ciclo de pastejo de 36 d, consistindo de um período de pastejo de 3 d e um período de descanso de 33 d.

A determinação do tamanho mínimo da parcela para experimentos com ¹⁵N em capim-tanzânia foi realizada no inverno (de 2 de junho a 7 de julho), na primavera (de 24 de outubro a 25 de dezembro) e no verão (de 29 de novembro a 30 de janeiro). No inverno, o delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com cinco repetições. Na primavera e no verão, o delineamento foi em blocos completos casualizados, com quatro repetições.

As parcelas consistiram de grupos de microparcels não confinadas de 1 m², inseridas dentro de parcelas

maiores, também não confinadas, de 4 m². As parcelas de 1 e de 4 m² tiveram uma touceira do capim em seu centro geométrico (Figura 1). A área interna, de 1 m², foi adubada com sulfato de amônio enriquecido com fertilizante-¹⁵N (3 % de átomos de ¹⁵N em excesso), mas a área adjacente externa, de 3 m² (4–1 m²), foi fertilizada com (NH₄)₂SO₄ comercial (Figura 1). O fertilizante marcado foi aplicado às microparcels por meio de 500 mL de solução, seguida por 500 mL de água. O fertilizante não marcado, na forma de grânulo, foi aplicado no restante da parcela (3 m²). O fertilizante nitrogenado, em dose equivalente a 80 kg ha⁻¹ de N, foi aplicado à pastagem 2 d depois da saída dos animais do piquete. Detalhes adicionais da área experimental foram apresentados por Penati (2002).

As touceiras existentes nos 4 m² foram contadas e cortadas ao nível do solo, e a distância do centro da área basal das plantas amostradas na área externa (3 m²) até o limite da área adubada com fertilizante-¹⁵N foi registrada. No inverno, a forragem foi cortada depois de 30 d da aplicação do fertilizante nitrogenado, enquanto na primavera e no verão o corte de avaliação foi feito 27 d depois da adubação. As amostras colhidas no campo foram pesadas, subamostradas, pesadas novamente e secas em estufa com ventilação forçada de ar (60 °C por 72 h). Subsequentemente, as amostras foram pesadas e moídas (1 mm). O teor de N total e a abundância isotópica de ¹⁵N nas amostras foram determinados em espectrômetro de massa automatizado para análise de C e N (ANCA-MS SL 20-20, Europa Scientific; Barrie & Prosser, 1996). O N proveniente do fertilizante marcado (N_{pfm}), como percentagem do N total na planta, foi calculado pela equação 1.

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

em que *a* e *b* representam o excesso de ¹⁵N (% de átomos de ¹⁵N em excesso) na planta e no fertilizante, respectivamente. A abundância natural de ¹⁵N na planta foi de 0,3663 %.

Em teoria, uma planta posicionada exatamente no limite das áreas adubadas com fertilizante marcado e

Quadro 1. Condições climáticas médias durante os experimentos de inverno, primavera e verão

Estação/mês	Radiação	Insolação	Temperatura	
			Mínima	Média
	MJ m ⁻² dia ⁻¹	h dia ⁻¹	°C	
		Inverno		
Junho	12,72	6,7	11,4	19,3
Julho	13,39	6,5	8,8	16,6
		Primavera/verão		
Outubro	20,08	7,2	18,0	25,0
Novembro	19,46	6,8	17,7	23,8
Dezembro	18,74	5,6	19,0	24,4
Janeiro	21,30	7,4	19,6	25,8

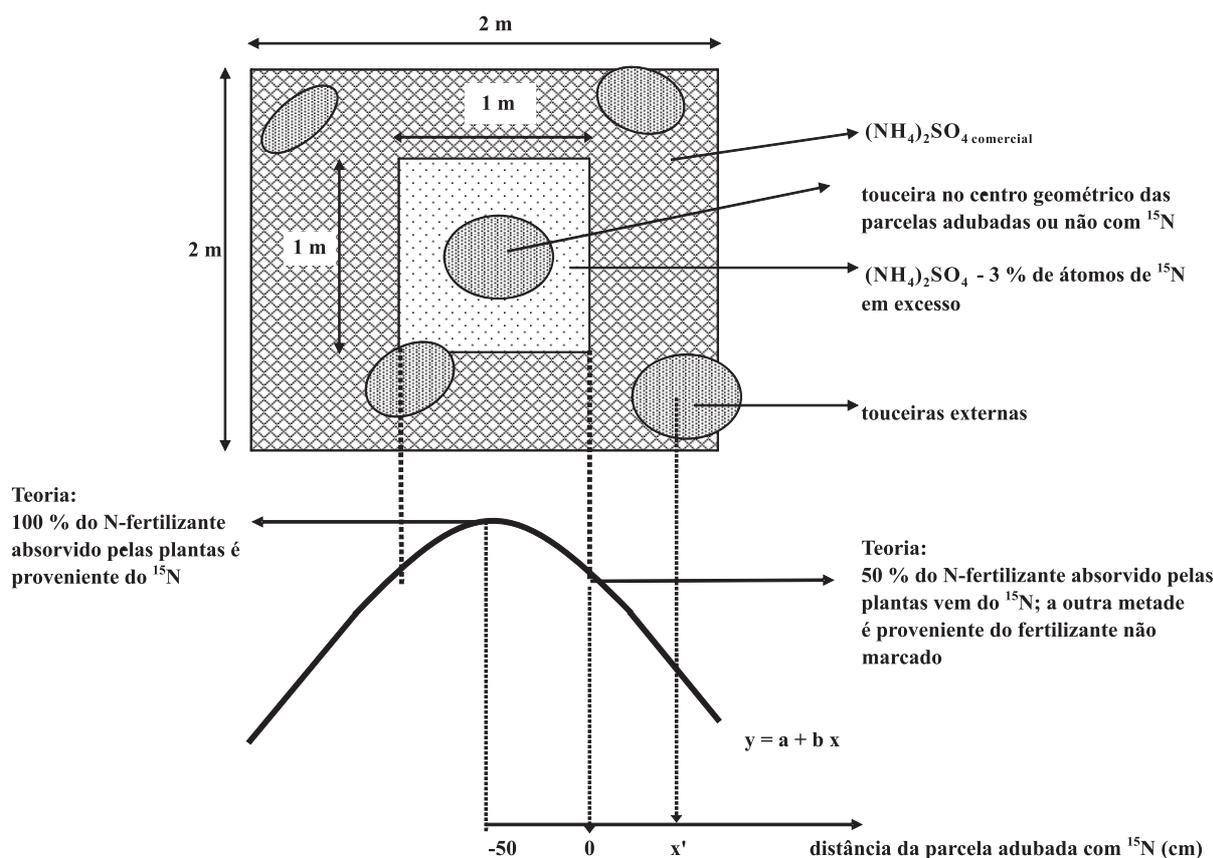


Figura 1. Esquema de parcelas adubadas com fertilizante- ^{15}N e utilizadas para determinação do tamanho da parcela. Na parte inferior da figura é apresentada a teoria do experimento, de acordo com Sanchez et al. (1987) e Trivelin et al. (1994).

comercial absorveria metade do seu N da parcela que recebeu ^{15}N (1 m^2); a outra metade viria do N do fertilizante com abundância natural (3 m^2), como indicado na figura 1. A fração relativa (Y) do Npfm entre plantas amostradas a uma distância “ x ” do limite da área adubada com fertilizante- ^{15}N (Npfm_x), em relação às plantas posicionadas no centro de uma parcela adubada com fertilizante marcado de tamanho infinito (Npfm_c ; plantas posicionadas dentro da parcela fertilizada com ^{15}N sem a ocorrência de efeito de bordadura), pode ser determinada pela eq. (2).

$$Y = \text{Npfm}_x / \text{Npfm}_c \quad (2)$$

Na ausência de movimento lateral do fertilizante, as curvas que indicam o enriquecimento isotópico na planta, em função de sua posição, deveriam ser simétricas em relação ao limite da parcela. A ausência de simetria em relação ao limite das parcelas adubadas e não-adubadas com ^{15}N seria evidência de que ocorreu movimento lateral do fertilizante ou de que o tamanho da parcela adubada com ^{15}N foi muito pequeno (Sanchez et al., 1987). Partindo da suposição de que a absorção de ^{15}N pelas plantas posicionadas a uma dada distância na área externa (3 m^2) é equivalente à absorção do N do fertilizante comercial

em distância equivalente, porém no interior da área adubada com fertilizante marcado, pode-se testar se o tamanho da parcela e o da área amostrada são adequados; se necessário, correções podem ser feitas (Sanchez et al., 1987; Powlson & Barraclough, 1993; Trivelin et al., 1994).

Sanchez et al. (1987) consideraram que a distribuição no enriquecimento isotópico em plantas localizadas em diferentes posições nas áreas adubadas e não-adubadas com fertilizante- ^{15}N seguiria uma curva sigmoidal (Equação 3).

$$Y = (\text{Npfm}_x / \text{Npfm}_c) = 1 / [1 + e^{p \cdot x}] \quad (3)$$

em que p é um parâmetro, constante para um dado sistema, e x é a distância (cm) do limite da área fertilizada com ^{15}N (negativo ou positivo, dependendo da posição, isto é, dentro e fora da parcela adubada com fertilizante marcado, respectivamente).

Entretanto, uma aproximação linear do modelo de Sanchez et al. (1987) pode ser utilizada (Trivelin et al., 1994).

Análises de regressão linear da fração relativa do Npfm ($\text{Npfm}_x/\text{Npfm}_c$) em relação à distância da parcela adubada com ^{15}N foram realizadas para testar

a simetria em relação ao limite das parcelas adubadas e não-adubadas com ¹⁵N. Procedeu-se, então, a análises de regressão linear do Np_{fm} calculado pelo modelo em função da distância da área adubada com ¹⁵N. Por meio do teste “t” de Student (nível de significância a 5 %) compararam-se as médias de Np_{fm} e 2 Np_{fm0} (distância “zero”, referente a uma planta posicionada exatamente sobre o limite das áreas adubada e não-adubada com ¹⁵N). As análises de variância e de regressão e o teste “t” foram feitos com o pacote estatístico SAS System (SAS, 1989).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Massa da touceira

O aumento na intensidade de pastejo determinou a redução na massa da touceira em todas as épocas do ano (Figura 2), possivelmente refletindo um balanço mais negativo de C na planta, por um maior período de tempo, em plantas submetidas ao pastejo intenso. Os fatores que explicam tal situação seriam: (1) a reduzida interceptação de luz, uma vez que a maior parte da área foliar em plantas da espécie *P. maximum* está concentrada no estrato intermediário e superior da touceira, e a reduzida capacidade fotossintética, porque as folhas velhas (menos eficientes na fixação do C quando comparadas às folhas jovens) encontram-se preferencialmente posicionadas na base da touceira (Chacón-Moreno et al., 1995); (2) os reduzidos níveis de reservas fisiológicas (Lemaire & Gastal, 1997); e (3) o menor crescimento/atividade de raízes sob desfolha intensa (Pagotto, 2001).

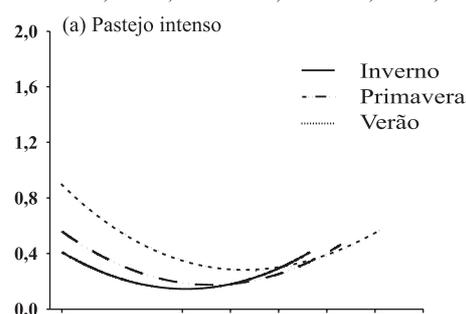
Em todas as intensidades de pastejo e épocas do ano, houve um padrão quadrático de resposta na massa das touceiras por meio das áreas adubadas e não-adubadas com ¹⁵N. Plantas nas parcelas adubadas com ¹⁵N e em distâncias maiores do que 40 a 50 cm dessa área tiveram maior massa do que as plantas localizadas em distâncias intermediárias (Figura 2).

De maneira geral, observou-se compensação completa na massa das touceiras (kg/touceira de MS) na área da parcela considerada (4 m²; Figura 2). Essa compensação na massa das touceiras não foi verificada no pastejo intenso, durante a avaliação de verão, e no pastejo leniente, na primavera. Possivelmente, o estabelecimento do início do processo de degradação da pastagem, no primeiro caso, e a renovação da população de perfilhos, no segundo, expliquem esses resultados, conforme se depreende dos trabalhos de Penati (2002) e Santos (2002), respectivamente. Entretanto, não se pode descartar a hipótese de que a resposta compensatória na produção das touceiras poderia ocorrer em maiores distâncias (maior superfície de amostragem) do que as avaliadas nesses estudos.

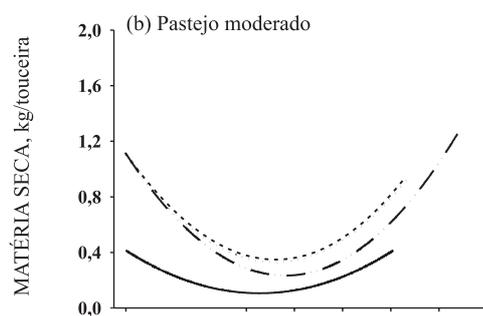
O padrão espacial observado no tamanho das touceiras aparentemente não está relacionado com a adubação. Pelo contrário, esse comportamento parece

ser uma característica inerente à fisiologia do capim-tanzânia, sendo verificada uma compensação entre massa e número de touceiras em uma área de 4 m² (Figura 3). O comportamento exponencial entre esses fatores (Figura 3a) provavelmente explica a ausência de efeito significativo entre a massa e o número de touceiras no inverno ($p > 0,05$), época do ano em que a massa das touceiras foi menor.

$$\begin{aligned} \text{Inverno} &= 0,1452 - 0,0003 \text{ dist} + 0,0001 \text{ dist}^2; R^2 = 0,5356 \\ \text{Primavera} &= 0,1889 - 0,0024 \text{ dist} + 0,0001 \text{ dist}^2; R^2 = 0,5195 \\ \text{Verão} &= 0,3544 - 0,0056 \text{ dist} + 0,0001 \text{ dist}^2; R^2 = 0,5868 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \text{Inverno} &= 0,1091 - 0,0011 \text{ dist} + 0,0001 \text{ dist}^2; R^2 = 0,6896 \\ \text{Primavera} &= 0,2861 - 0,0065 \text{ dist} + 0,0002 \text{ dist}^2; R^2 = 0,6814 \\ \text{Verão} &= 0,3587 - 0,0048 \text{ dist} + 0,0002 \text{ dist}^2; R^2 = 0,5641 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \text{Inverno} &= 0,3134 - 0,0036 \text{ dist} + 0,0002 \text{ dist}^2; R^2 = 0,6527 \\ \text{Primavera} &= 0,6911 - 0,0114 \text{ dist} + 0,0001 \text{ dist}^2; R^2 = 0,6450 \\ \text{Verão} &= 0,5381 - 0,0102 \text{ dist} + 0,0003 \text{ dist}^2; R^2 = 0,7290 \end{aligned}$$

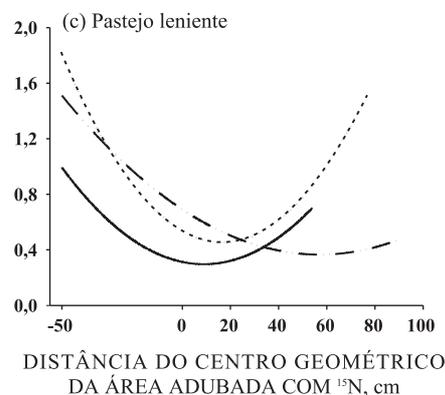


Figura 2. Variabilidade espacial na massa da touceira de *P. maximum* cv. Tanzânia, em diferentes épocas do ano, em função da intensidade de pastejo: intenso (a), moderado (b) e leniente (c). As equações apresentadas são significativas ($p < 0,02$).

Ademais, é interessante notar que a resposta observada na figura 3 contrasta com aquela obtida em pastagens de clima temperado, em que a compensação entre o tamanho e o número ocorre em nível de perfilhos (Matthew et al., 1995). Assim, enquanto a compensação entre o tamanho e o número de perfilhos em pastagens de *P. maximum* tem sido inconsistente (Herling et al., 1998; Santos, 2002), os coeficientes angulares das retas de compensação entre o tamanho e o número de touceiras apresentados na figura 3b, de $-2,7/2$ e $2,5/2$, são próximos à curva teórica de autodesbaste com inclinação $-3/2$ (Matthew et al., 1995).

O padrão espacial na massa das touceiras em função da distância abre espaço para pelo menos duas questões para trabalhos futuros com capim-tanzânia. A primeira é sobre a eficiência de uso do fertilizante nitrogenado aplicado ao pasto na forma líquida (parcela adubada com ^{15}N) ou sólida (parcela adubada com fertilizante comercial). Watson et al. (1992) observaram

que a aplicação superficial de ureia em pastagem de azevém perene, na forma líquida, não resultou em menores perdas de amônia por volatilização, em comparação com a ureia aplicada em forma granulada. De maneira semelhante, Volk (1959) constatou que as perdas de N-ureia aplicada superficialmente em pastagem de *Cynodon dactylon*, na forma de solução, foram similares às perdas da ureia aplicada na forma de grânulo. Portanto, parece que a forma de aplicação do fertilizante nitrogenado não interferiu de maneira significativa na eficiência de uso do N do fertilizante pelas plantas forrageiras e, conseqüentemente, não teve efeito sobre as respostas observadas na massa das touceiras neste estudo.

Uma segunda questão diz respeito ao uso de linhas transectas como método para avaliações agrônômicas em pastagens de capim-tanzânia. A variabilidade espacial na massa das touceiras, tanto entre tratamentos como entre épocas do ano, pode indicar que, dependendo do ponto inicial em que as avaliações (massa de forragem, perfilhamento, etc.) baseadas na linha transecta são tomadas, é possível a introdução de erros sistemáticos nessas determinações. Possivelmente, esses erros irão variar com o manejo e com a estação do ano, porque o padrão de variação na massa da touceira entre as intensidades de pastejo e as épocas do ano pode ser o mesmo, mas os valores absolutos, conforme demonstrado pela massa das touceiras, variam com a intensidade de desfolha e a época do ano (Figura 2). Essa constatação ratifica a necessidade de mais estudos para conhecer melhor os efeitos do manejo e da época do ano sobre a ecologia da planta forrageira.

Tamanho da parcela

Na média de intensidades de pastejo e de épocas do ano, a fração relativa do Np_{fm} foi de 0,51 (Quadro 2), indicando simetria por meio das áreas adubadas e não-adubadas com ^{15}N . A análise de regressão dos valores de Np_{fm} em relação à distância da área adubada com ^{15}N não revelou diferença ($p > 0,05$) entre os valores de Np_{fm_c} e $2 \text{ Np}_{\text{fm}_0}$, independentemente da intensidade de pastejo e da época do ano (Quadro 2). Esse fato indica que parcelas de 1 m^2 , tendo uma touceira do capim em seu centro geométrico, foram adequadas para evitar o efeito de bordadura. Parcelas menores que 1 m^2 não foram testadas, porém é possível que com plantas menores (p.ex., pastejo intenso) o tamanho da parcela possa ser inferior a 1 m^2 . Entretanto, a possibilidade de trabalhar com parcelas menores é questionável, uma vez que sob pastejo intenso verificaram-se sinais de degradação da pastagem (Penati, 2002).

A diminuição dos valores de Np_{fm} com o aumento na distância da área adubada com ^{15}N é coerente com trabalhos realizados com milho (Sanchez et al., 1987) e com cana-de-açúcar (Trivelin et al., 1994). No trabalho com cana-de-açúcar, em particular, Trivelin et al. (1994) encontraram decréscimo de 0,6 a 2,0

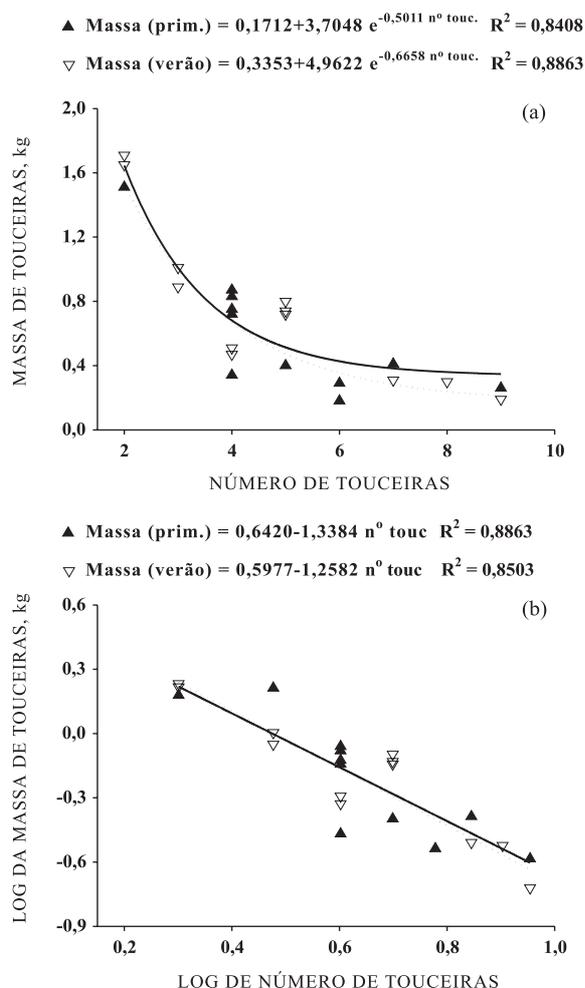


Figura 3. Relação entre massa e número de touceira em uma área de 4 m^2 em *P. maximum* cv. Tanzânia na primavera e no verão. As equações apresentadas são exponenciais (a) e suas linearizações (b) são significativas ($p < 0,002$).

unidades percentuais no Np_{fm} para cada 10 cm de aumento na distância da área adubada com ¹⁵N. Esses valores são consistentes com as taxas de declínio no Np_{fm} verificadas neste estudo, de 0,76 a 2,66 para cada incremento de 10 cm na distância (Quadro 2). Não foi encontrado outro trabalho com pastagem de gramínea tropical delineado para acessar as exigências quanto ao tamanho da parcela. Todavia, a redução na abundância de ¹⁵N com o aumento na distância da área adubada com o traçador foi relatada por Vallis et al. (1973), em estudo com capim-de-rodas.

A diminuição da quantidade de Np_{fm}, com o aumento na distância da área adubada com fertilizante marcado, significa que o movimento lateral do N do fertilizante e, ou, a distribuição lateral das raízes concentraram-se nas proximidades da área adubada com ¹⁵N. Como as touceiras posicionadas nas proximidades desse limite foram menores que as plantas vizinhas (Figura 2), numa dada intensidade de pastejo, o padrão de declínio na quantidade de Np_{fm} com o aumento na distância da área adubada com ¹⁵N pode ser consequência de uma competição desvantajosa entre plantas de diferentes tamanhos. Vale lembrar que essa disposição espacial das plantas parece ser uma característica inerente à pastagem de capim-tanzânia.

De maneira geral, observaram-se maiores taxas de declínio na quantidade de Np_{fm} no pastejo intenso e menores no pastejo leniente, sendo as taxas de declínio do pastejo moderado intermediárias às encontradas nos pastejos intenso e leniente (Quadro 2). Esse fato indica que plantas submetidas a desfolhas mais lenientes foram capazes de absorver o N em maiores distâncias da área adubada com ¹⁵N,

possivelmente em razão de serem mais vigorosas (Figura 2) e, conseqüentemente, mais capacitadas para expressar maior crescimento e atividade de raízes do que as plantas submetidas ao pastejo intenso, em especial na primavera e no verão (Quadro 2).

O maior potencial de absorção de N do solo nos pastejos moderado e leniente, em razão do maior crescimento de raízes (Pagotto, 2001), em associação com o maior potencial de utilização de reservas fisiológicas, nessas condições (Louahlia et al., 2000), pode explicar os menores valores médios de Np_{fm} nos pastejos moderado e leniente, em comparação à desfolha intensa (Quadro 2). Depreende-se, dessa assertiva, que com maior intensidade de pastejo as plantas tornam-se mais dependentes da adubação nitrogenada.

Finalmente, é importante mencionar que o uso de parcelas de 1 m² para condições de pastagens de sequeiro pode não ser necessariamente adequado, em razão de diferenças na disponibilidade de água no solo e na distribuição e atividade de raízes e, conseqüentemente, no movimento lateral do fertilizante nitrogenado entre condições irrigadas e de sequeiro. No entanto, é seguro sugerir que, para locais (ou anos) com chuvas em quantidades adequadas e bem distribuídas para atender ao crescimento da forragem, parcelas de 1 m² poderiam ser utilizadas sem risco de comprometer os resultados de recuperação do fertilizante-¹⁵N por pastagens não irrigadas de capim-tanzânia. Com efeito, Adegbola & Adepoju (1983) determinaram, para uma região úmida na Nigéria, que as raízes de *P. maximum* não irrigado tiveram distribuição lateral de cerca de 45 cm, indicando que parcelas de 1 m² poderiam ser utilizadas para locais com essas características.

Quadro 2. Determinação do tamanho da parcela para as intensidades de pastejo intensa (PI), moderada (PM) e leniente (PL), com base no nitrogênio derivado do fertilizante marcado indicado por observações de campo (Np_{fm}) ou calculado pelo modelo (2 Np_{fm})

Np _{fm} x/Np _{fm_c(¹)}	Equações(²)	R ²	2 Np _{fm} (³)	Np _{fm}	(Np _{fm} x 2 Np _{fm})(⁴)
Inverno					
PI = 0,5124	PI = 10,37 - 0,1962*x	0,88	20,74	20,15 (2,67) (⁵)	ns
PM = 0,5274	PM = 11,91 - 0,2186*x	0,89	23,82	22,42 (1,65)	ns
PL = 0,5183	PL = 8,03 - 0,1400*x	0,89	16,06	15,03 (1,27)	ns
Primavera					
PI = 0,5134	PI = 9,00 - 0,1704*x	0,87	18,00	17,89 (2,27)	ns
PM = 0,4777	PM = 4,01 - 0,0757*x	0,74	8,02	8,00 (1,54)	ns
PL = 0,4914	PL = 4,47 - 0,0843*x	0,81	8,94	8,87 (1,77)	ns
Verão					
PI = 0,5069	PI = 14,40 - 0,2661*x	0,63	28,80	27,24 (5,88)	ns
PM = 0,5052	PM = 7,54 - 0,1428*x	0,87	15,08	14,78 (1,97)	ns
PL = 0,5443	PL = 5,14 - 0,0893 x	0,76	10,28	9,60 (2,51)	ns

(¹) Intercepto da equação de fração relativa (Np_{fm}/Np_{fm_c). Os coeficientes angulares dessas equações, que foram significativas (p < 0,0001), variaram de -0,009 a -0,010. (²) Todas as equações foram significativas (p < 0,05). O valor x representa a distância (cm) do limite da área adubada com fertilizante-¹⁵N. (³) Np_{fm} no limite (distância "zero") calculado pelas equações apresentadas na segunda coluna. (⁴) Confronto entre Np_{fm} e 2 Np_{fm} pelo teste "t" de Student a 5%. (⁵) Valores entre parênteses referem-se ao erro-padrão.}

CONCLUSÃO

A recuperação do fertilizante-¹⁵N por pastagem irrigada de capim-tanzânia pode ser feita de maneira segura por parcelas não confinadas de 1 m² que apresentam uma touceira do capim no meio. Esse tamanho de parcela mostrou-se válido para manejo dos pastejos intenso, moderado e leniente nas épocas de inverno, primavera e verão. O aumento na intensidade de pastejo determinou redução na massa da touceira; quanto menor a touceira, maior sua dependência de N-fertilizante. Portanto, com desfolhas intensas, a adubação nitrogenada deve ser priorizada.

LITERATURA CITADA

- ADEGBOLA, A.A. & ADEPOJU, A. Pasture research in the wet and dry tropics of Nigeria with particular reference to isotope applications. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, ed. Nuclear techniques in improving pasture management. Viena, 1983. p.93-108.
- 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.
- CHACÓN-MORENO, E.; RADA, F. & SAMIENTO, G. Intercambio gaseoso, nitrógeno foliar y optimación en el manejo de *Panicum maximum* (tipo común) sometido a diferentes frecuencias de corte. Turrialba, 45:19-26, 1995.
- GEENS, E.L.; DAVIES, G.P.; MAGGS, J.M. & BARRACLOUGH, D. The use of mean pool abundances to interpret ¹⁵N tracer experiments. II. Application. Plant Soil, 131:97-105, 1991.
- HENZELL, E.F. Recovery of nitrogen from four fertilizers applied to Rhodes grass in small plots. Austr. J. Exper. Agric. An. Husb., 11:420-430, 1971.
- HERLING, V.R.; JANTALIA, C.P.; PIAZZA, C.; SUDA, C.H.; LUZ, P.H.C. & LIMA, C.G. Fisiologia de perfilamento do capim mombaça (*Panicum maximum* Jacq. cv. Mombaça) sob pastejo. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 35., Botucatu, 1998. Anais. Botucatu, Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1998. p.533-535.
- LEMAIRE, G. & GASTAL, F. N uptake and distribution in plant canopies. In: LEMAIER, G., ed. Diagnosis of the nitrogen status in crops. Heidelberg, Springer-Verlag, 1997. p.3-43.
- LOUAHLIA, S.; LAINÉ, P.; THORNTON, B. & BOUCAUD, J. The role of N-remobilisation and the uptake of NH₄⁺ and NO₃⁻ by *Lolium perenne* L. in laminae growth following defoliation under field conditions. Plant Soil, 220:175-187, 2000.
- LOURENÇO, L.F. & COELHO, R.D. Comparação entre três métodos para determinação da umidade do solo vegetado por capim-tanzânia (*Panicum maximum* Jacq.). Piracicaba, USP/ESALQ, 2000. 22p. (Relatório Final – PIBIC/USP/CNPq)
- MATTHEW, C.; LEMAIER, G.; SACKVILLE HAMILTON, N.R. & HERNANDEZ-GARAY, A. A modified self-thinning equation to describe size/density relationships for defoliated swards. Ann. Bot., 76:579-587, 1995.
- PAGOTTO, D.S. Comportamento do sistema radicular do capim-tanzânia (*Panicum maximum* Jacq.) sob irrigação e submetido a diferentes intensidades de pastejo. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2001. 51p. (Tese de Mestrado)
- 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)
- POWLSON, D.S. & BARRACLOUGH, D. Mineralization and assimilation in soil-plant system. In: KNOWLES, R. & BLACKBURN, T.H., eds. Nitrogen isotope techniques. San Diego, Academic Press, 1993. p.209-242.
- SANCHEZ, C.A.; BLACKMER, A.M.; HORTON, R. & TIMMONS, D.R. Assessment of errors associated with plot size and lateral movement of nitrogen-15 when studying fertilizer recovery under field conditions. Soil Sci., 144:344-351, 1987.
- SANTOS, P.M. Controle do desenvolvimento das hastes no capim-tanzânia: Um desafio. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2002. 98p. (Tese de Doutorado)
- SAS INSTITUTE. SAS/STAT user's guide, version 6. 4.ed. Cary, 1989. 943p.
- TRIVELIN, P.C.O.; LARA CABEZAS, W.A.R.; VICTORIA, R.L. & REICHARDT, K. Evaluation of a ¹⁵N plot design for estimating plant recovery of fertilizer nitrogen applied to sugarcane. Sci. Agric., 51:226-234, 1994.
- VALLIS, I.; HENZELL, E.F.; MARTIN, A.E. & ROSS, P.J. Isotopic studies on the uptake of nitrogen by pasture plants. V. ¹⁵N balance experiments in field microplots. Austr. J. Agric. Res., 24:693-702, 1973.
- VOLK, G.M. Volatile loss of ammonia following surface application of urea to turf or bare soils. Agron. J., 51:746-749, 1959.
- WATSON, C.J.; STEVENS, R.J.; LAUGHLIN, R.J. & POLAND, P. Volatilization of ammonia from solid and liquid urea surface-applied to perennial ryegrass. J. Agric. Sci., 119:223-226, 1992.