

DISTRIBUIÇÃO DO NITROGÊNIO DO SULFATO DE AMÔNIO (^{15}N) NO SISTEMA SOLO-PLANTA, EM UMA SUCESSÃO DE CULTURAS, SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO⁽¹⁾

Flavia Carvalho da Silva Fernandes⁽²⁾ & Paulo Leonel Libardi⁽³⁾

RESUMO

O aproveitamento do N pelo milho (*Zea mays*, L.) é influenciado pelas doses de adubo nitrogenado. O presente trabalho foi desenvolvido em um solo de textura arenoargilosa (Hapludox) e teve por objetivo avaliar a eficiência de utilização do N pela cultura de milho, em uma sucessão de culturas, utilizando-se sulfato de amônio marcado com ^{15}N (5,5 átomos %), em diferentes doses; e o efeito residual desse fertilizante nas duas culturas subsequentes em sucessão (braquiária e milho), sob sistema plantio direto. As avaliações foram feitas em dois cultivos de milho safrinha – o primeiro no ano agrícola 2006 e o segundo em 2007 – e um de braquiária na entressafra. Os tratamentos consistiram de doses de N de 60, 120 e 180 kg ha⁻¹, na forma de sulfato de amônio marcado (^{15}N). Esse adubo foi aplicado em subparcelas, previamente definidas, apenas no primeiro cultivo do milho (safra 2006). Foram avaliados: N-total acumulado; N nas plantas de milho e braquiária proveniente do fertilizante, N no solo proveniente do fertilizante e recuperação de N-fertilizante pelas plantas e pelo solo. O maior aproveitamento do N-fertilizante pelo milho foi obtido no tratamento com 120 kg ha⁻¹ de N, e o maior efeito residual do N-fertilizante pela braquiária e milho subsequente, no tratamento com 180 kg ha⁻¹ de N. Após a sucessão de culturas, a recuperação de N pelo solo foi de 32, 23 e 27 % para os tratamentos com 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de N.

Termos de indexação: eficiência de utilização, efeito residual, braquiária, doses de N, milho.

⁽¹⁾ Trabalho apoiado pela FAPESP. Recebido para publicação em 24 de maio de 2010 e aprovado em 2 de março de 2012.

⁽²⁾ Professora Doutora da Universidade Estadual de Maringá – Campus de Umuarama (PR). E-mail: flcsfernandes@gmail.com

⁽³⁾ Professor Titular do Departamento de Engenharia de Biosistemas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ-USP. Av. Pádua Dias 11, Caixa Postal 09, CEP 13418-900 Piracicaba/SP. E-mail: pllibard@esalq.usp.br

**SUMMARY: DISTRIBUTION OF NITROGEN AMMONIUM SULFATE (^{15}N)
SOIL-PLANT SYSTEM IN A NO-TILLAGE CROP SUCCESSION**

*The N use by maize (*Zea mays*, L.) is affected by N-fertilizer levels. This study was conducted using a sandy-clay texture soil (Hapludox) to evaluate the efficiency of N use by maize in a crop succession, based on ^{15}N -labeled ammonium sulfate (5.5 atom %) at different rates, and to assess the residual fertilizer effect in two no-tillage succession crops (signalgrass and corn). Two maize crops were evaluated, the first in the growing season 2006, the second in 2007, and brachiaria in the second growing season. The treatments consisted of N rates of 60, 120 and 180 kg ha⁻¹ in the form of labeled ^{15}N ammonium sulfate. This fertilizer was applied in previously defined subplots, only to the first maize crop (growing season 2006). The variables total accumulated N; fertilizer-derived N in corn plants and pasture; fertilizer-derived N in the soil; and recovery of fertilizer-N by plants and soil were evaluated. The highest uptake of fertilizer N by corn was observed after application of 120 kg ha⁻¹ N and the residual effect of N fertilizer on subsequent corn and Brachiaria was highest after application of 180 kg ha⁻¹ N. After the crop succession, soil N recovery was 32, 23 and 27 % for the respective applications of 60, 120 and 180 kg ha⁻¹ N.*

Index terms: nitrogen use efficiency, residual effect, brachiaria, N rates, maize.

INTRODUÇÃO

A semeadura direta, com o revolvimento do solo somente na linha de plantio, surgiu como uma simples técnica de manejo e evoluiu para um sistema complexo e ordenado de produção agrícola, denominado no Brasil de sistema plantio direto (Anghinoni, 2007). A sua adoção nos agroecossistemas tropicais e subtropicais, em substituição à prática de agricultura em terra “nua”, tem-se caracterizado como um investimento na preservação dos recursos naturais e socioeconômicos (Muzilli, 2000).

Em relação às doses de N, no sistema convencional de plantio, diversas pesquisas, em diferentes regiões, mostraram que os aproveitamentos aparentes do N (%) pelo milho foram influenciados negativamente por doses crescentes de adubo nitrogenado. Com doses de 75 e 150 kg ha⁻¹ de N e 100 e 200 kg ha⁻¹ de N, o aproveitamento de N do fertilizante por toda a planta de milho variou de 31 a 60 % para doses baixas de N e de 24 a 45 % para doses altas (Jokela & Randall, 1997). Para Halvorson et al. (2001), a eficiência de utilização do fertilizante variou com a dose de N e o ano agrícola, sendo obtidas as médias de 86, 69, 56 e 46 % para as doses de 28, 56, 84 e 112 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. Fernandes et al. (2005), estudando a eficiência e o uso de N (0, 30, 60 e 180 kg ha⁻¹) por seis cultivares de milho na região dos cerrados, concluíram que a eficiência do uso de N de todos os híbridos diminuiu quando a dose desse nutriente aplicada foi aumentada, e, para todas as doses de N, o híbrido DKB 333B foi o que apresentou maior eficiência de uso, enquanto

as variedades BR 106 e Sol da Manhã mostraram menor eficiência.

Com o avanço do sistema plantio direto e a generalização da utilização de plantas de cobertura e rotação de culturas, houve necessidade de adaptar essa recomendação ao novo cenário agrícola, que se caracteriza por incremento no estoque de N total do solo e presença de resíduos culturais com distintas características na superfície do solo, resultando em uma dinâmica do N diferenciada. Há algumas pesquisas recentes que demonstram a eficiência de utilização do N por milho em sistema plantio direto. Sainz Rozas et al. (2004), com o objetivo de avaliar o efeito das taxas de ureia (0, 70 e 210 kg ha⁻¹ de N) e diferentes épocas de aplicação (plantio e estádio de seis folhas) na cultura do milho, em plantio direto, observaram que a recuperação de N-fertilizante pela planta variou de 43 a 53 % quando o fertilizante foi aplicado no plantio e de 62 a 74 % quando foi aplicado no estádio V₆ da cultura. Fernandes et al. (2008), avaliando o parcelamento da adubação nitrogenada na cultura do milho e a utilização residual pelas culturas sucessoras, no ano agrícola 2003/2004, verificaram que, na dose de 120 kg ha⁻¹ de N, o tratamento com maior quantidade desse nutriente na semeadura (60 kg ha⁻¹) proporcionou maior aproveitamento do N do fertilizante (65 %), em relação ao tratamento com a dose de 30 kg ha⁻¹ na semeadura (45 %).

Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo estudar a eficiência de utilização do N pelo milho safrinha, cultivado em sistema plantio direto, adubado com diferentes doses de sulfato de amônio marcado com ^{15}N , e o efeito residual do fertilizante

nas duas culturas subsequentes em sucessão (braquiária e milho) e no solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em campo, em área experimental da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, cujas coordenadas geográficas são: 22° 42' 30" S, 47° 38' 00" W e altitude aproximada de 546 m. As médias anuais de temperatura, precipitação pluvial e umidade relativa são de 21,1 °C, 1.257 mm e 74 %, respectivamente. O solo é um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (Typic Hapludox) (Embrapa, 1999). O solo na camada de 0–0,20 m apresentava as seguintes características químicas: pH (CaCl₂): 4,8, P-resina: 10,0 mg dm⁻³, MO: 20,0 g dm⁻³, K: 1,6, Ca: 16,0, Mg: 13,0, H + Al: 31,0 e Al: 2,0 mmol_c dm⁻³; e atributos físicos: 840 g kg⁻¹ de areia; 20 g kg⁻¹ de silte e 140 g kg⁻¹ de argila; Ds: 1,63 kg dm⁻³; macroporosidade: 12,9 %; e microporosidade: 27,9 %. O trabalho envolveu dois cultivos de milho, nas safras 2006 e 2007, e um cultivo de braquiária na entressafra.

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com quatro tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos constaram de doses de N, na forma de sulfato de amônio (60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de N), sendo 30 kg ha⁻¹ de N na semeadura e o restante em cobertura, no estádio de seis a oito folhas, e uma sucessão de cultura (milho-braquiária-milho). A parcela experimental consistiu de uma área de 36 m² (5,0 x 7,2 m), com nove linhas de milho espaçadas de 0,80 m, sendo a distância entre parcelas de 2,0 m. A subparcela do ¹⁵N foi demarcada a 1,5 m da extremidade da parcela, com as dimensões de 2,0 x 2,4 m (4,8 m²), para aplicação do sulfato de amônio, enriquecido com 5,5 átomos % de ¹⁵N. No restante da área da parcela foi aplicado, como fonte de N, sulfato de amônio não enriquecido com ¹⁵N.

Os cultivares de milho utilizados (DKB 350) nos anos agrícolas 2006 e 2007 foram híbridos simples, ciclo precoce, usados para produção de grãos e altamente resistentes ao acamamento. As semeaduras foram realizadas manualmente em 26/04/2006 e 12/02/2007, para primeiro e segundo cultivos, respectivamente. As sementes foram distribuídas com auxílio de uma régua, deixando-se a cada 0,20 m duas sementes, desbastando-se para uma planta, duas semanas após a emergência, para obtenção de uma população final de aproximadamente 62.500 plantas ha⁻¹, ou seja, cinco plantas por metro de sulco. Em 01/08/2006 e 01/05/2007 as plantas de milho atingiram o

florescimento pleno, e em 26/09/2006 e 18/06/2007 foram realizadas as colheitas de grãos, para primeiro e segundo cultivos, respectivamente. Após a colheita da cultura do milho, realizou-se o manejo mecânico com roçadora lateral de três facas. A braquiária (*Brachiaria brizantha*) foi semeada em linha em 09/10/2006, após a colheita do milho, empregando-se 13 kg ha⁻¹ de sementes. As plantas atingiram o florescimento pleno em 30/12/2006. Na época do florescimento das plantas, foi aplicado o herbicida glifosato (3 L ha⁻¹) e, posteriormente, realizado o manejo mecânico com roçadora lateral de três facas. A adubação básica (fosfatada e potássica), no sulco de semeadura, foi realizada em ambos os cultivos de milho na dose de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 50 kg ha⁻¹ de K (Raij et al., 1997), na forma de superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente, aplicados a 5 cm ao lado e abaixo das sementes no momento da semeadura, para evitar o contato direto com as sementes. A braquiária não foi adubada. As adubações nitrogenadas tiveram como fonte o sulfato de amônio e foram realizadas manualmente, no sulco de semeadura (adubação plantio), e incorporadas em sulco superficial a 0,20 m da linha da cultura (adubação de cobertura), quando as plantas de milho se encontravam no estádio de 6 a 8 folhas totalmente desdobradas. A aplicação do sulfato de amônio, nas doses indicadas, enriquecido com ¹⁵N foi feita manualmente apenas no primeiro cultivo do milho nas linhas de plantio das subparcelas (adubação de plantio); quando da adubação de cobertura, o adubo foi incorporado em sulco a 0,20 m da linha de semeadura. Foram feitas as seguintes avaliações: N total acumulado (N_a), em kg ha⁻¹, foi obtido pelo produto da concentração de N (g kg⁻¹) e a massa da matéria seca (kg ha⁻¹) das plantas; N nas plantas de milho e braquiária proveniente do fertilizante (NPPF); N na planta proveniente do solo (NPPS); N no solo proveniente do fertilizante (NSPF); e recuperação de N-fertilizante (R %) pelas plantas e solo. Com os resultados de abundância isotópica de N (% em átomos de ¹⁵N), após o primeiro e segundo ciclos do milho e após a cultura de braquiária, foi determinado o N na parte aérea (folhas+colmo, sabugo+palha e grãos) das plantas de milho e solo proveniente do fertilizante (% e kg ha⁻¹) (equações 1 e 2), o N na planta proveniente do solo, em kg ha⁻¹ (equação 3) e a recuperação (R %) do N do fertilizante pelas partes das plantas e no solo nas camadas de 0–0,10, 0,10–0,20, 0,20–0,40 e 0,40–0,80 m, de acordo com a equação 4 (Trivelin et al., 1973):

$$NP(S)PF (\%) = \frac{a}{b} 100 \quad (1)$$

$$NP(S)PF(\text{kg ha}^{-1}) = \frac{NP(S)PF (\%)}{100} NT \quad (2)$$

$$\text{NPPS (kg ha}^{-1}\text{)} = N_a - \text{NPPF} \quad (3)$$

$$R(\%) = \frac{\text{NP(S)PF (kg ha}^{-1}\text{)}}{\text{NF (kg ha}^{-1}\text{)}} 100 \quad (4)$$

sendo NP(S)PF(%) = percentagem de N na planta (ou solo) proveniente do fertilizante; a e b = abundância de ^{15}N (% em átomos em excesso) na planta (ou solo) e no fertilizante, respectivamente; NT = N total acumulado nas plantas (ou solo), em kg ha^{-1} ; NF = dose de N-fertilizante (kg ha^{-1}); e R(%) = eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado pelas plantas ou a recuperação no solo.

As abundâncias de átomos de ^{15}N em excesso (a e b) foram obtidas pela diferença entre a abundância isotópica (% átomos ^{15}N) encontrada nas amostras e a abundância natural de ^{15}N (0,366 % de átomos). Os dados foram submetidos à análise de variância, e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p = 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de concentração de N acumulado, quantidade de N na planta proveniente do fertilizante e do solo e eficiência de utilização do fertilizante na colheita final do milho, safras 2006 e 2007, encontram-se no quadro 1. O N acumulado nas partes da planta de milho na safra 2006 diferiu significativamente entre os tratamentos no colmo+folhas+pendão, palha+sabugo, grãos e parte aérea. No segundo cultivo de milho (2007) essa avaliação foi diferente somente para grãos e parte aérea. Para os dois cultivos de milho, o menor acúmulo de N nos grãos e na parte aérea foi no tratamento em que se aplicaram 60 kg ha^{-1} de N, ou seja, quando se aumenta a dose de N, aumenta-se o N acumulado nos grãos e na parte aérea de milho. Esse maior acúmulo de N observado na parte aérea e nos grãos de milho foi responsável pela maior quantidade de massa seca das plantas ($4,51, 4,37, 4,32$ e $4,16 \text{ t ha}^{-1}$) e pelo rendimentos de grãos ($2.214, 1.828, 3.271$ e 3.171 kg ha^{-1}) obtidos, respectivamente, nos tratamentos em que se aplicaram 120 e 180 kg ha^{-1} de N, das safras 2006 e 2007. Esses resultados concordam com os obtidos por Sainz Rozas et al. (2004), que verificaram, em três experimentos, incremento de N acumulado nos grãos quando se aumentou a aplicação de N no estádio V_6 das plantas de milho. Na safra do milho 2007, a distribuição de N nas diferentes partes da planta foi semelhante nos três tratamentos. Na média dos dois cultivos, 33, 33 e 28 % do N acumularam no colmo+folhas+pendão, 8,7 e 6 % na palha+sabugo e 60, 61 e 67 % nos grãos, respectivamente, para os tratamentos em que se aplicaram $60, 120$ e 180 kg ha^{-1} de N,

evidenciando que a maior quantidade de N na planta localiza-se nos grãos e que grande quantidade de N das partes vegetativas foi para eles translocada, passando a fazer parte de aminoácidos e proteínas (Ta & Weiland, 1992). Valores semelhantes foram encontrados por outros autores (Timmons & Baker, 1992; Lara Cabezas et al., 2000; Gava, 2003).

Os resultados de distribuição de N acumulado nas distintas partes da planta de milho, na safra 2006, diferem dos resultados da safra 2007. Em média, 52 % do N acumulado alocou-se no colmo+folhas+pendão, 8 % na palha+sabugo e 40 % nos grãos, o que implica baixa translocação do N das partes vegetativas para os grãos. Por outro lado, a porção de N acumulado na parte aérea (exceto grãos) pelas plantas foi bem maior (60 %) e provavelmente retornou ao solo pelos resíduos culturais, devendo ser aproveitada pelas culturas subsequentes, mesmo que sua mineralização seja lenta, devido à alta relação C/N da palha do milho. A baixa translocação de N das partes vegetativas para as partes reprodutivas pode ter ocorrido devido à falta de chuva (57 a 75 dias após a emergência - DAE) entre o estádio R1 (florescimento) e R2 (grãos leitosos), pois, de acordo com Ritchie et al. (2003), nessa fase o N e o P totais da planta estão se acumulando rapidamente e a realocação desses nutrientes das partes vegetativas para suas partes reprodutivas já começa a acontecer; assim, o amido começa a se acumular no endosperma aquoso e os grãos começam um período de rápido e constante acúmulo de matéria seca ou de enchimento. Desse modo, o requerimento de suprimento hídrico satisfatório aliado a temperaturas adequadas tornam esse período extremamente crítico (Fancelli & Dourado Neto, 2005). Entretanto, as baixas quantidades de massa seca para todos os tratamentos e os valores de N acumulado encontrados na parte aérea da planta de milho das safras 2006 e 2007 evidenciaram a imobilização do N no solo. Um dos motivos pode ter sido a baixa precipitação pluvial no período dos cultivos.

O N proveniente do fertilizante (NPPF), nas diferentes partes da planta (Quadro 1), apresentou diferença significativa entre os tratamentos no primeiro e segundo cultivos de milho. No cultivo de milho safrinha, em 2006, a aplicação de 120 e 180 kg ha^{-1} de N proporcionou valores mais elevados de N proveniente do fertilizante e acumulado no colmo+folha+pendão, palha+sabugo, grãos e, conseqüentemente, parte aérea. A quantidade de N do sulfato de amônio aplicado, encontrada na parte aérea do milho, foi de $12,74, 58,12$ e $48,68 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, respectivamente, para os tratamentos $60, 120$ e 180 kg ha^{-1} , representando 18, 47 e 44 % do N total acumulado na parte aérea, o que indica que as plantas que receberam 120 e 180 kg ha^{-1} de N absorveram mais N do fertilizante do que

aquelas que receberam 60 kg ha^{-1} de N. Esses valores, entretanto, mostraram-se superiores aos encontrados por Coelho et al. (1991) e Lara Cabezas et al. (2000). Portanto, pode-se concluir que a percentagem de N na parte aérea da planta proveniente do solo (cerca de 82 %) foi maior no tratamento com 60 kg ha^{-1} de N e menor naqueles com 120 e 180 kg ha^{-1} de N (cerca de 53 e 56 %, respectivamente). Contudo, observa-se que, independentemente da dose aplicada, a maior percentagem de N na planta é proveniente do solo, que na maioria das vezes caracteriza-se como a principal fonte de N para a cultura do milho, pois em qualquer sistema de manejo ocorre interação do N aplicado com o N orgânico do solo (Hart et al., 1994).

Para o cultivo em sucessão à braquiária (safra 2007), o efeito residual do fertilizante (^{15}N) na parte aérea do milho foi de 0,47, 3,91 e $7,68 \text{ kg ha}^{-1}$ de N para os tratamentos com 60, 120 e 180 kg ha^{-1} (Quadro 1), respectivamente, o que representa 0,7, 3,3 e 7,4 % do N total acumulado na planta. Observa-se que o N na planta proveniente do fertilizante foi maior, significativamente, para o tratamento com 180 kg ha^{-1} de N, o que pode ser em virtude do maior N acumulado no milho do ano agrícola 2007, nesse tratamento (Quadro 1). O N na parte aérea proveniente do solo e do adubo não marcado representa 99,2 % para o tratamento com 60, 96,7 para o tratamento com 120 e 95,7 % para o tratamento com 180 kg ha^{-1} de N, indicando diferença significativa apenas entre os tratamentos com 60 e 120 kg ha^{-1} de N e entre aqueles com 120 e 180 kg ha^{-1} de N. Entretanto, quando se avaliou N nos grãos proveniente do solo, os maiores valores (70,11 e $65,25 \text{ kg ha}^{-1}$) foram obtidos nos tratamentos que receberam 120 e 180 kg ha^{-1} de N, o que pode implicar que neles as plantas absorveram mais N do fertilizante aplicado no segundo cultivo, o qual foi translocado para os grãos. É importante lembrar que no primeiro cultivo, no N proveniente do solo, estão incluídas outras fontes, como resíduos de culturas anteriores, plantas daninhas, fixação biológica do N, precipitação pluvial, etc., ao passo que no segundo cultivo, além desses fatores, inclui-se também o fertilizante não marcado aplicado na semeadura e cobertura do milho. Isso pôde ser comprovado em todos os tratamentos, quando se comparou, na parte aérea do milho, maior quantidade de N proveniente do solo, no segundo cultivo (71,25, 115,08 e $95,89 \text{ kg ha}^{-1}$), em relação ao primeiro (56,60, 65,71 e $62,76 \text{ kg ha}^{-1}$). Isso significa que no segundo cultivo de milho foram acrescidos aproximadamente 15, 49 e 33 kg ha^{-1} de N na planta proveniente do solo, para os respectivos tratamentos, o que, provavelmente, pode ter tido como fonte o sulfato de amônio não marcado, aplicado no segundo cultivo de milho, e também a mineralização dos resíduos de milho e braquiária cultivados anteriormente.

Verificou-se que houve diferença significativa na eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado no primeiro e segundo cultivos de milho safrinha (Quadro 1) para as diferentes partes da planta. Na safra 2006, a recuperação de N pela cultura foi de 9, 22 e 11 % para grãos, 11, 22 e 14 % para colmo+folhas+pendão e 2, 4 e 2 % para palha+sabugo, respectivamente, para os tratamentos com 60, 120 e 180 kg ha^{-1} de N. Lange et al. (2002) somente encontraram diferenças significativas para grãos. A maior eficiência de utilização pela parte aérea das plantas de milho (48 %) foi obtida no tratamento em que se aplicaram 120 kg ha^{-1} , no qual foi observado o maior rendimento de grãos (2.314 kg ha^{-1}). Esse tratamento diferiu significativamente dos outros dois, cujas eficiências de utilização pelas plantas foram de 21 e 27 %, para os tratamentos com 60 e 180 kg ha^{-1} de N. Esses valores indicaram, nesse cultivo, que tanto uma baixa como uma alta dose de fertilizante aplicado podem resultar em baixa absorção de N pelas plantas, proveniente do adubo: a dose baixa de fertilizante, por não suprir as necessidades da cultura, e a dose alta, porque a planta não consegue absorver grande quantidade de N em pouco tempo, gerando perdas por lixiviação, escoamento superficial e, principalmente, denitrificação. Assim, em condições de campo, sob cultura do milho, em cultivo convencional, perdas da ordem de 13 a 23 % têm sido atribuídas ao processo de denitrificação durante períodos de deficiência de oxigênio, quando a superfície do solo é umedecida pela chuva ou irrigação (Olson, 1980; Reddy & Reddy, 1993). Quanto à eficiência de utilização, Timmons & Baker (1992) encontraram resultados variando de 57 a 36 % nas doses de 125 e 200 kg ha^{-1} de N; e Liang & Mackenzie (1994), de 40 a 26 % nas doses de 170 a 400 kg ha^{-1} de N. Gava (2003) obteve resultados de 40, 43, 34 e 19 % para as doses de 75, 125, 175 e 225 kg ha^{-1} de N, respectivamente, e Silva (2005) registra uma média de aproveitamento de 49 % para as doses de 80, 130 e 180 kg ha^{-1} de N. Observa-se que a maioria dos estudos demonstra que há grande variação no aproveitamento do N de fertilizantes inorgânicos pelo milho, raramente ultrapassando 50 % (Scivittaro et al., 2000). Essas diferenças devem-se a diversos fatores, como as condições edafoclimáticas, o tipo de fertilizante e, principalmente, o sistema de cultivo (Tobert et al., 1992; Lara Cabezas et al., 2000).

O aproveitamento do N do fertilizante (aplicado no primeiro cultivo de milho) pelas diferentes partes de plantas do milho em sucessão à braquiária foi inferior a 5 % (Quadro 1), para todos os tratamentos, apresentando diferenças significativas entre eles. As plantas que receberam 180 kg ha^{-1} mostraram maior recuperação (4,27 %) do fertilizante residual na parte aérea do milho, em virtude, provavelmente,

Quadro 1. Nitrogênio acumulado, nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (NPPF), nitrogênio na planta proveniente do solo (NPPS) e eficiência de utilização do fertilizante (R) pela planta no final dos cultivos de milho safrinha, safras 2006 e 2007

Dose de N	Parte da planta	N acumulado	NPPF	NPPS	R
kg ha ⁻¹			kg ha ⁻¹		%
Milho safrinha 2006					
60	C+F+P ⁽¹⁾	36,34 b ⁽²⁾	6,33 b	30,00 a	10,56 b
	P+S	5,71 b	0,97 b	4,74 a	1,62 b
	G	27,31 b	5,44 b	21,86 a	9,07 b
	PA	69,36 b	12,74 b	56,60 a	21,25 b
120	C+F+P	61,69 a	26,93 a	34,75 a	22,44 a
	P+S	9,03 a	5,05 a	3,98 a	4,20 a
	G	53,13 a	26,14 a	26,98 a	21,79 a
	PA	123,85 a	58,12 a	65,71 a	48,43 a
180	C+F+P	60,68 a	24,85 a	35,84 a	13,81 b
	P+S	8,19 ab	3,78 a	4,40 a	2,11 b
	G	42,57 a	20,05 a	22,52 a	11,14 b
	PA	111,44 a	48,68 a	62,76 a	27,06 b
Milho safrinha 2007					
60	C+F+P	23,45 a	0,16 c	23,29 a	0,27 b
	P+S	5,60 a	0,025 c	5,57 a	0,04 b
	G	42,67 b	0,29 c	42,39 b	0,48 c
	PA	71,72 b	0,47 c	71,25 b	0,78 c
120	C+F+P	38,75 a	1,20 b	37,56 a	1,00 a
	P+S	8,01 a	0,61 b	7,41 a	0,51 a
	G	72,21 a	2,10 b	70,11 a	1,75 b
	PA	118,98 a	3,91 b	115,08 a	3,25 b
180	C+F+P	28,45 a	2,82 a	25,63 a	1,57 a
	P+S	5,99 a	0,98 a	5,01 a	0,54 a
	G	69,13 a	3,88 a	65,25 a	2,16 a
	PA	103,57 a	7,68 a	95,89 ab	4,27 a

⁽¹⁾ C+F+P: significa colmo+folha+pendão, P+S: palha+sabugo, G: grãos, PA: parte aérea da planta de milho. ⁽²⁾ Médias entre tratamentos de uma mesma parte da planta seguidas de letras comuns, na coluna, não diferem entre si a 5 % pelo teste de Tukey. Tratamentos de 60, 120 e 180 referem-se à aplicação total de N.

da maior quantidade de N na planta proveniente do fertilizante, que foi de 7,68 kg ha⁻¹ (Quadro 1).

De modo geral, o N remanescente dos adubos verdes e fertilizantes inorgânicos é encontrado, predominantemente, na forma de compostos orgânicos. Por essa razão, o aproveitamento por cultivos subsequentes é, em geral, bastante pequeno: da ordem de 1 a 6 % do montante aplicado (Harris & Hesterman, 1990; Rekhi & Bajwa, 1993). Além disso, o milho cultivado no primeiro ano (safra 2006) aproveitou 12, 26 e 16 % (parte aérea, exceto grãos) e 9, 22 e 11 % (grãos) para os tratamentos com 60, 120 e 180 kg ha⁻¹, respectivamente (Quadro 1), o que implica que grande parte do N foi exportada pelos grãos e o restante ficou no sistema solo ou foi perdido por lixiviação, volatilização, denitrificação ou erosão.

Foram observadas diferenças significativas para N acumulado, N na planta de braquiária proveniente do fertilizante e solo e eficiência de utilização do fertilizante pela planta (Quadro 2). Quanto ao N acumulado, houve diferença entre os tratamentos,

provavelmente, pela significância dos seus efeitos no teor de N (19,60, 21,4 e 23,5 g kg⁻¹) e na massa seca de plantas (2,899, 3,202 e 5,052 kg ha⁻¹), para as respectivas doses aplicadas de 60, 120 e 180 kg ha⁻¹. O maior valor de N proveniente do fertilizante, na braquiária, ocorreu quando da aplicação de 180 kg ha⁻¹ de N na semeadura do milho (9,38 kg ha⁻¹), em razão da maior quantidade de N acumulado na parte aérea do milho no ano agrícola 2006, que foi de 111,44 kg ha⁻¹ de N (Quadro 2), associada à baixa recuperação do nutriente pela planta para esse tratamento, quando comparado ao tratamento com 120 kg ha⁻¹. Os valores foram de 0,95 e 3,98 kg ha⁻¹ de N para os tratamentos com 60 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, representando 2 e 6 % do N total acumulado na planta, ou seja, as plantas de braquiária, no tratamento com 180 kg ha⁻¹ de N, apresentaram praticamente o dobro de N proveniente do fertilizante, quando comparadas com as do tratamento com 120 kg ha⁻¹ de N, e nove vezes maior quando comparadas com as do tratamento com 60 kg ha⁻¹ de N, o que indica que o aumento do fertilizante no milho influenciou na absorção de N remanescente do fertilizante pela

Quadro 2. Nitrogênio acumulado, nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (NPPF), nitrogênio na planta proveniente do solo (NPPS) e eficiência de utilização do fertilizante (R) pela planta no final do cultivo da braquiária, safra 2006

Dose de N	Partes da planta	Braquiária – safra 2006			
		N acumulado	NPPF	NPPS	R
kg ha ⁻¹			kg ha ⁻¹		%
60	PA ⁽¹⁾	57,58 b ⁽²⁾	0,95 c	56,64 b	1,58 c
120		68,21 b	3,98 b	64,24 b	3,31 b
180		118,81 a	9,38 a	109,44 a	5,21 a

⁽¹⁾ Parte aérea da planta de braquiária. ⁽²⁾ Médias entre tratamentos seguidas de letras comuns, na coluna, não diferem entre si a 5 % pelo teste de Tukey. Tratamentos de 60, 120 e 180 referem-se à aplicação total de N.

braquiária. Mesmo assim, observou-se, para os três tratamentos, que a maior parte de N acumulado na parte aérea da braquiária provém do solo (média de 95 %).

Em consequência disso, a eficiência de utilização de N pela parte aérea da planta de braquiária (Quadro 2) também foi maior para o tratamento com 180 kg ha⁻¹ de N, ou seja, a planta recuperou 5,21 % do N-fertilizante aplicado no primeiro cultivo de milho neste tratamento e 1,58 e 3,31 % nos tratamentos com 60 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente (Quadro 1).

Nos quadros 3 e 4 são apresentados os resultados do N no solo, até a profundidade de 0,80 m, proveniente do fertilizante aplicado nas doses de 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de N, após os cultivos de milho (safra 2006 e 2007) e braquiária (safra 2006). Observou-se diferença significativa entre os tratamentos em todos os cultivos, para todas as camadas, exceto na de 0,40–0,80 m. A aplicação de 180 kg ha⁻¹ de N proporcionou maiores valores médios em todas as camadas. A alta dose de N aliada à falta de chuva no período de cultivo e ao menor valor de N na planta proveniente do fertilizante (Quadro 1) podem ser consideradas justificativas para a grande quantidade de N encontrada nas camadas de solo, nos tratamentos que receberam 180 kg ha⁻¹ de N. Os valores foram diminuindo com a profundidade e com o decorrer dos cultivos, para todos os tratamentos. Na camada de 0–0,80 m, os resultados foram de 49,57, 59,98 e 115,75 kg ha⁻¹ e 22,35, 29,05 e 47,52 kg ha⁻¹, para o primeiro e segundo cultivos de milho (Quadro 3), e de 38,24, 45,48 e 71,30 kg ha⁻¹ para braquiária (Quadro 4), respectivamente para os tratamentos com 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de N, o que representa cerca de 3,5, 3,7 e 7,0 % (primeiro cultivo de milho), 2,6, 2,8 e 4,3 % (braquiária) e 1,6, 1,8 e 2,9 % (segundo cultivo de milho) do N total acumulado no solo, para os tratamentos com 60, 120 e 180 kg ha⁻¹

de N, respectivamente. Os valores de N no solo proveniente do fertilizante até a profundidade de 0,80 m mostraram-se próximos aos encontrados por Jokella & Randall (1997), também nessa camada, que foram de 37 e 51 kg ha⁻¹ de N para as doses de 100 e 150 kg ha⁻¹ de N. Foram próximos também aos de Gava (2003), na camada de 0–0,40 m, que foram de 18 e 35 kg ha⁻¹ de N para as doses de 75 e 125 kg ha⁻¹ de N. Eles ficaram acima do valor obtido por Coelho et al. (1991), na camada de 0–0,40 m, que foi de 14 kg ha⁻¹ de N na dose de 60 kg ha⁻¹ de N. A diminuição dos teores de N no solo proveniente do fertilizante, no decorrer dos anos e com a profundidade, nos dois tratamentos (Quadros 3 e 4) demonstrou que, em um solo arenoso, grande porção de N-fertilizante movimentou-se no perfil, não ficando retida, como acontece em solo argiloso, possivelmente devido à imobilização microbiana (Timmons & Cruse, 1990). Deve-se mencionar também que a precipitação pluvial ocorrida nos períodos de cultivo, provavelmente, promoveu maior movimentação do N-fertilizante no perfil do solo, diminuindo assim a capacidade de retenção de N no solo.

A recuperação de N fertilizante no solo (R) diferiu entre os tratamentos em todas as camadas no primeiro cultivo de milho (Quadro 3) e braquiária (Quadro 4), exceto na camada de 0,40–0,80 m. No segundo cultivo de milho (Quadro 3) os tratamentos não diferiram entre si, em todas as camadas. Entretanto (Quadros 3 e 4), em todos os cultivos, as maiores recuperações foram observadas na camada de 0–0,10 m. Resultados semelhantes também foram obtidos por Kitur et al. (1984) e Jokella & Randall (1997).

A quantidade recuperada de N na camada de 0,40–0,80 m tem sido atribuída, principalmente, à imobilização microbiana de N (Timmons & Cruise, 1990). Os valores diminuem após cada cultivo nos três tratamentos, para todas as camadas,

Quadro 3. Nitrogênio no solo proveniente do fertilizante (NSPF) e eficiência de utilização do fertilizante (R) pelo solo, no final dos cultivos de milho safrinha, safras 2006 e 2007

Dose de N	Profundidade	NSPF	R
kg ha ⁻¹	m	kg ha ⁻¹	%
Milho safrinha 2006			
60	0–0,10	19,88 b	33,33 a
	0,10–0,20	13,98 b	23,29 a
	0,20–0,40	8,49 b	13,15 a
	0,40–0,80	14,22 a	11,52 a
	0–0,80	49,57 b	81,29 a
120	0–0,10	20,62 b	17,18 b
	0,10–0,20	15,80 b	12,18 b
	0,20–0,40	7,56 b	8,30 a
	0,40–0,80	16,00 a	12,02 a
	0–0,80	59,98 b	49,68 b
180	0–0,10	48,61 a	30,00 a
	0,10–0,20	33,59 a	20,66 a
	0,20–0,40	15,03 a	8,35 a
	0,40–0,80	18,52 a	13,01 a
	0–0,80	115,75 a	72,02 a
Milho safrinha 2007			
60	0–0,10	9,05 b	15,08 a
	0,10–0,20	5,22 b	8,68 a
	0,20–0,40	2,06 b	3,07 a
	0,40–0,80	6,02 a	5,11 a
	0–0,80	22,35 b	31,94 a
120	0–0,10	10,71 b	8,93 a
	0,10–0,20	7,33 b	6,11 a
	0,20–0,40	3,69 ab	3,08 a
	0,40–0,80	7,32 a	4,56 a
	0–0,80	29,05 b	22,68 a
180	0–0,10	18,54 a	10,30 a
	0,10–0,20	12,64 a	7,02 a
	0,20–0,40	7,13 a	3,96 a
	0,40–0,80	9,21 a	5,99 a
	0–0,80	47,52 a	27,27 a

Médias entre tratamentos de uma mesma camada de solo seguidas de letras comuns, na coluna, não diferem entre si a 5 % pelo teste de Tukey. Tratamentos de 60, 120 e 180 referem-se à aplicação total de N.

o que demonstra que parte do N imobilizado foi mineralizada nesse período e absorvida pelas plantas e, ou, perdida para o sistema, como, por exemplo, por desnitrificação, escoamento superficial e lixiviação. As altas recuperações de N fertilizante para todos os tratamentos, na camada de 0–0,80 m, após o primeiro cultivo de milho e braquiária, implicam baixa absorção de N-fertilizante pelas plantas. Já após o segundo cultivo, a diminuição brusca da recuperação de N pelo solo, em todos os

Quadro 4. Nitrogênio residual no solo proveniente do fertilizante (NSPF) e eficiência de utilização do fertilizante (R %) pelo solo, no final do cultivo de braquiária, safra 2006

Dose de N	Profundidade	Braquiária-safra 2006	
		NSPF	R
kg ha ⁻¹	m	kg ha ⁻¹	%
60	0–0,10	11,18 b	18,64 a
	0,10–0,20	9,97 b	14,46 a
	0,20–0,40	7,04 b	11,74 a
	0,40–0,80	10,05 a	10,52 a
	0–0,80	38,24 b	55,36 a
120	0–0,10	12,64 b	10,54 b
	0,10–0,20	10,59 b	8,82 b
	0,20–0,40	10,22 b	9,44 a
	0,40–0,80	12,03 a	11,23 a
	0–0,80	45,48 b	40,03 a
180	0–0,10	20,38 a	11,32 b
	0,10–0,20	19,01 a	10,56 ab
	0,20–0,40	16,99 a	8,51 a
	0,40–0,80	14,92 a	12,96 a
	0–0,80	71,30 a	43,35 a

Médias entre tratamentos de uma mesma camada de solo seguidas de letras comuns, na coluna, não diferem entre si a 5 % pelo teste de Tukey. Tratamentos de 60, 120 e 180 referem-se à aplicação total de N.

tratamentos, indica perdas que podem ter ocorrido por desnitrificação e, ou, lixiviação durante o período.

CONCLUSÕES

1. O maior aproveitamento do N fertilizante pelo milho foi obtido no tratamento com 120 kg ha⁻¹ de N, e a melhor recuperação de N fertilizante pelo solo, no tratamento com 60 kg ha⁻¹ de N.

2. O maior efeito residual do N fertilizante pela braquiária e milho subsequente foi verificado no tratamento com 180 kg ha⁻¹ de N.

3. Após a sucessão de culturas, a recuperação de N pelo solo foi de 32, 23 e 27 % para os tratamentos com 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de N, respectivamente.

LITERATURA CITADA

- ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo em sistema plantio direto. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI R.B. & NEVES, J.C.L., eds. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.873-928.

- COELHO, A.M.; FRANÇA, G.C.; BAHIA, A.F.C. & GUEDES, G.A. Balanço de nitrogênio ¹⁵ N em Latossolo Vermelho-Escuro, sob vegetação de cerrado, cultivado com milho. R. Bras. C. Solo, 95:187-193, 1991.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 1999. 306p.
- FANCELLI A.L. & DOURADO NETO, D. Produção de milho em terras baixas. In: FANCELLI, A.L. & DOURADO NETO, D., eds. Milho: Tecnologia e produção. Piracicaba, ESALQ/USP/LVP, 2005. p.21-33.
- FERNANDES, F.C.S.; BUZZETTI, S.; ARF, O. & ANDRADE, J.A.C. Doses, eficiência e uso de nitrogênio por seis cultivares de milho. R. Bras. Milho Sorgo, 4:195-204, 2005.
- FERNANDES, F.C.S.; LIBARDI, P.L. & TRIVELELIN, P.O. Parcelamento da adubação nitrogenada na cultura do milho e utilização do N residual pela sucessão aveia preta-milho. Ci. Rural, 38:1138-1141, 2008.
- GAVA, G.J.C. Compartimentalização do nitrogênio no sistema solo-planta na implantação na implantação do semeadura direta no ciclo da cultura do milho. Piracicaba, USP/ESALQ, 2003. 125p. (Tese de Doutorado)
- HALVORSON, A.D.; WIENHOLD, B.T. & BLACK, A.L. Tillage and nitrogen fertilization influence grain and soil nitrogen in a annual cropping system. Agron. J., 93:836-841, 2001.
- HARRIS, G.H. & HESTERMAN, O.B. Quantifying the nitrogen contribution from alfafa to soil and two succeeding crops using nitrogen-15. Agron. J., 82:129-134, 1990.
- HART, S. C.; STARK, J. M.; DAVIDSON, E. A. & FIRESTONE, M.K. Nitrogen mineralization immobilization and nitrification. In: BIGHAM, J.M., ed. Methods of analysis; Microbiological and biochemical properties. Madison, SSSA, 1994. Part 2. p.985-1017.
- JOKELA, W.E. & RANDALL, G.W. Fate of fertilizer nitrogen as affected by time and rate of application on corn. Soil Sci. Soc. Am. J., 61:1695-1703, 1997.
- KITUR, B.K.; SMITH, M.S.; BLEVINS, R.L. & FRYE, W.W. Fate of ¹⁵N-depleted ammonium nitrate applied to no-tillage and conventional tillage maize. Agron. J., 76:240-243, 1984.
- LANGE, A.; LARA CABEZAS, W.A.R. & TRIVELIN, P.C.O. Recuperação de ¹⁵N-amônio do sulfato de amônio e do nitrato de amônio e produtividade do milho em sistema semeadura direta no cerrado. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24., Florianópolis, 2002. Anais... Sete Lagoas, ABMS/Embrapa Milho e Sorgo/Epagri, 2002. CD ROOM.
- LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P. C. O.; KONDÖRFER, G. H. & PEREIRA, S. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluida de cobertura na cultura do milho, em sistema plantio direto no triângulo mineiro (MG). R. Bras. Ci. Solo, 24:363-376, 2000.
- LIANG, B.C.; MACKENZIE, A.F. Corn yield, nitrogen uptake and nitrogen use efficiency as influenced by nitrogen fertilization. Can. J. Soil Sci., 74:235-40, 1994.
- MUZZILI, O.A. Fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1., Ponta Grossa, 2000. Anais... Ponta Grossa, Associação dos Engenheiros dos Campos Gerais, 2000. p.1-16.
- OLSON, R.A. Fate of tagged nitrogen fertilizer applied to irrigated corn. Soil Sci. Soc. Am. J., 44:514-517, 1980.
- RAIJ, B. Van.; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100)
- REKHI, R.S. & BAJWA, M.S. Effect of green manure on the yield, N uptake and floodwater properties of a flooded rice, wheat rotation receiving ¹⁵N urea on a highly permeable soil. Fert. Res., 34:15-22, 1993.
- REDDY, G.B. & REDDY, K.R. Fate of nitrogen-15 enriched ammonium nitrate applied to corn. Soil Sci. Soc. Am. J., 57:111-115, 1993.
- RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J. & BENSON, G.O. Como a planta de milho se desenvolve. Piracicaba, 2003. p.1-20. (Informações Agronômicas, 103)
- SAINZ ROZAS, H.R.; ECHEVERRIA, H.E. & BARBIERI, P.A. Nitrogen balance as affected by application time and nitrogen fertilizer rate in irrigated no-tillage maize. Am. Soc. Agron., 96:1622-1631, 2004.
- SCVITTARO, W.B.; MURAOKA, T.; BOARETO, A.E. & TRIVELIN, P.C.O. Transformações do nitrogênio proveniente de mucuna-preta e uréia utilizados como adubo na cultura do milho. R. Bras. Ci. Solo, 24:917-926, 2000.
- SILVA, E.C. Manejo da adubação nitrogenada e utilização do nitrogênio (¹⁵N) da uréia, do milheto e da crotalária pelo milho sob semeadura direta em solo de cerrado. Piracicaba, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, 2005. 111p. 111p. (Tese de Doutorado)
- TA, C.T. & WEILAND, R.T. Nitrogen partitioning in maize during ear development. Crop Sci., 32:443-451, 1992.
- TIMMONS, D.R. & BAKER, J.K. Fertilizer management effect on recovery of labeled nitrogen continuous no till. Agron. J., 84:490-496, 1992.
- TIMMONS, D.R. & CRUSE, R.M. Effect of fertilization method and tillage on nitrogen-15 recovery by timing, rate and tillage. Agron. J., 82:777-784, 1990.
- TORBERT, H.A.; MULVANEY, R.L. ; VANDEN HEUVELL, R.M. & HOEFT, R.G. Soil type and moisture regime effects on fertilizer efficiency calculation methods in a nitrogen-15 tracer study. Agron. J., 84:66-70, 1992.
- TRIVELIN, P.C.O.; SALATI, E. & MATSUI, E. Preparo de amostras para análise de ¹⁵N por espectrometria de massas. Piracicaba, CENA/USP, 1973. 41p. (Boletim Técnico, 2)

