

PERCENTAGEM DE RECUPERAÇÃO DE NITROGÊNIO PELO MILHO, PARA DIFERENTES DOSES E PARCELAMENTOS DO FERTILIZANTE NITROGENADO

FLÁVIA CARVALHO SILVA FERNANDES¹ e PAULO LEONEL LIBARDI¹

Depto. de Ciências Exatas - Pavilhão de Engenharia, ESALQ/USP, Av. Pádua Dias 11, Caixa Postal 9, CEP 13418-900 - Piracicaba-SP. flsilva@esalq.usp.br, plibard@esalq.usp.br

Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.6, n.3, p. 285-296, 2007

RESUMO – Este estudo objetivou analisar a recuperação do nitrogênio pelo milho, submetido a diferentes doses e parcelamentos de N, em sistema de semeadura direta. O experimento foi conduzido na ESALQ/USP, em um solo de textura franco-arenosa. O projeto envolveu dois cultivos de milho (safras 2003/04 e 2004/05) e um de aveia preta, cultivada na entressafra. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com quatro repetições, em um esquema fatorial incompleto $(3 \times 2) + 1$ (testemunha: 0 kg ha⁻¹). Utilizaram-se três doses de N (60, 120 e 180 kg ha⁻¹ N) e dois parcelamentos de N (30 kg ha⁻¹ de N na semeadura e o restante em cobertura; 60 kg ha⁻¹ de N na semeadura e o restante em cobertura). A aplicação de fertilizante, enriquecido com ¹⁵N, para utilização do método isotópico, foi feita, na dose de 120 kg ha⁻¹ de N, em subparcelas, apenas no primeiro cultivo do milho. Avaliaram-se: teor de N nas plantas, abundância de ¹⁵N, recuperação do N fertilizante pelas culturas pelo método da diferença e método isotópico. A recuperação do N, pelo método da diferença, após os cultivos de milho, não diminuiu quando aumentou a dose de N aplicada e, para as doses de 120 e 180 kg ha⁻¹ de N, a aplicação de 60 kg ha⁻¹, na semeadura, foi a que apresentou maior recuperação de N pelas plantas de milho. Na dose de 120 kg ha⁻¹ de N, o valor de percentagem de recuperação de N pelas plantas, encontrado pelo método da diferença, após o 1º cultivo de milho, foi superestimado, em média de 78,5%, quando comparado ao encontrado pelo método isotópico. O método da diferença não deve ser utilizado para estudos de efeitos residuais.

Palavras-chave: *Zea mays* L., plantio direto, efeito residual.

MAIZE NITROGEN RECOVERY FOR DIFFERENT APPLICATION LEVELS AND SPLITS OF NITROGEN FERTILIZER

ABSTRACT - The objective of this work was to analyze the nitrogen recovery of maize crops growing in the soil under the no-tillage management system, using different levels and splits of N. The experiment was carried out in a sandy-loam soil, located in the ESALQ/USP campus and consisted of two maize croppings (2003/04 and 2004/05) and one black oat cropping grown in the interval between 2003/04 and 2004/05. The experimental design was randomized blocks with four replications, in an incomplete factorial (3×2) scheme + 1 (control: 0 kg ha⁻¹ of N). Three levels (60, 120 and 180 kg ha⁻¹) and two splits (30 or 60 kg ha⁻¹ at sowing and the balance in cover) of N were used. The ¹⁵N-labelled fertilizer application, performed in order to use the isotope method, was carried out in the level of 120 kg ha⁻¹ in

subplots only in the first maize cropping. The following were evaluated: amount of N in plants, ^{15}N abundance fertilizer recovering by plants of the three croppings using both methods of the difference and isotope. The nitrogen recovery, by the difference method, after all croppings of maize, did not decrease with the increase of the applied nitrogen level and, for the level of 120 and 180 kg ha⁻¹ of N, the applications of 60 kg ha⁻¹ at sowing showed the highest N recovery by the plants. For the level of 120 kg ha⁻¹ of N, the plant N recovery (in percent) obtained by the method of the difference, after the first maize cropping, was 78,5% (in average) overestimated in comparison with the value found by the isotope method. The difference method should not be used in residual effect studies.

Key words: *Zea mays* L., nitrogen, no tillage, residual effect.

O milho é uma das culturas mais exigentes em fertilizantes, especialmente os nitrogenados. O suprimento inadequado de nitrogênio (N) é considerado um dos principais fatores limitantes ao seu rendimento de grãos. No entanto, segundo Hoefl (2003), a dose, a época e o método de aplicação de fertilizantes nitrogenados têm efeito marcante tanto sobre a produtividade das culturas como sobre o potencial de contaminação dos mananciais de água pelos nutrientes.

O manejo da adubação nitrogenada deve suprir a demanda da planta nos períodos críticos, maximizar a percentagem de recuperação do nitrogênio (R%) e minimizar o impacto no ambiente pela redução de perdas. O aumento da dose aplicada de N, na maioria das vezes, proporciona aumento no rendimento da cultura (Lantmann et al., 1986), porém, geralmente, os aproveitamentos de N decrescem com o aumento das doses aplicadas, em vista do suprimento de N exceder as necessidades da cultura (Coelho et al., 1992; Fernandes et al., 1998; Halvorson et al., 2004; Fernandes et al., 2005). Quanto ao parcelamento, quanto mais cedo o N for aplicado antes da época na qual a cultura precisa dele, maior será a quantidade de N perdida (Lange et al., 2002; Cantarella et al., 2003; Sainz Rozas et al., 2004), dependendo do tipo de solo, do local, da época de aplicação, do tipo de adubo, do sistema de cultivo etc.

Dois métodos são geralmente utilizados em pesquisas na quantificação da percentagem de recuperação do N (Legg & Meisinger, 1982): o método da diferença e o método isotópico com traçador ^{15}N . Esses dois métodos diferenciam-se por enfatizarem diferentes propriedades do sistema. O primeiro (método da diferença) envolve o balanço completo do nitrogênio e procura documentar convenientemente o total de ganhos e perdas, sem o uso do isótopo ^{15}N . Esse método fornece uma medida de impacto da aplicação do fertilizante em relação ao total de N acumulado pela planta (N-solo + N-fertilizante) e assume que tanto a mineralização, a imobilização e outras transformações do N, bem como o tamanho da parte subterrânea das plantas e o volume de solo explorado são os mesmos em áreas fertilizadas ou não. (Lara Cabezas et al., 2000). O segundo (método isotópico, com ^{15}N) constitui-se no único método direto para determinar a percentagem de recuperação do N nas plantas e também tem sido utilizado para distinguir o N da planta proveniente do fertilizante e o N da planta proveniente do solo (Timmons & Cruse, 1990).

No sistema plantio direto, o conceito de recuperação de N pelas plantas é mais abrangente que no sistema convencional, uma vez que as doses de N são definidas de acordo com o sistema e com as culturas. Porém, no Brasil, a maioria dos estudos de

recuperação da fertilização nitrogenada em milho, sob sistema de semeadura direta, tem sido conduzida em casa-de-vegetação e os resultados obtidos podem ser muito diferentes daqueles encontrados sob condições de campo.

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo estudar a porcentagem de recuperação de N pelo milho, submetido a diferentes doses e parcelamentos de N, em semeadura direta, sob condições de campo, e avaliar a comparação entre o método da diferença e o método isotópico, utilizados na quantificação da porcentagem de recuperação de N.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido, no campo, em área experimental da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade do Estado de São Paulo, cujas coordenadas geográficas são 22°42'30" de latitude sul, 47°38'00" de longitude oeste e, aproximadamente, 546m de altitude. O solo do local é do tipo Latossolo Vermelho Amarelo, distrófico, textura franco-arenosa (Sistema, 1999). Os dados pluviométricos e de temperaturas máxima e mínima (média mensal) ocorridos durante a condução dos experimentos estão apresentados na Figura 1.

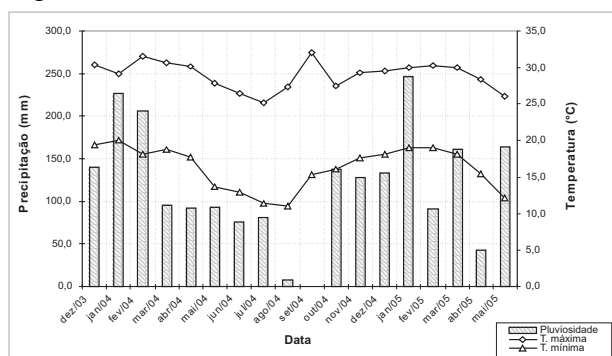


FIGURA 1. Dados pluviométricos e de temperaturas máxima e mínima (média mensal) ocorridos durante a condução dos experimentos, anos agrícolas 2003/2004 e 2004/2005.

O solo, amostrado na profundidade de 0-20 cm, apresentava as seguintes características químicas: pH (CaCl₂): 4,8; P-resina: 10,0 mg dm⁻³; MO: 20 g dm⁻³; K²: 1,6; Ca: 16,0; Mg: 13,0; H+Al: 31 mmol /dm³. Antes da implantação do SPD (sistema semeadura direta), foi feito o preparo inicial do solo (uma subsolagem, uma aração e duas gradagens) aplicando-se, para corrigir a acidez do solo, 50% do calcário dolomítico antes da aração e 50% após a aração e antes da gradagem; a segunda gradagem foi realizada pouco antes da semeadura. A calagem foi realizada na camada de 0-0,20 m, objetivando-se elevar a saturação por bases a 60% (Raij et al., 1997).

O experimento constou de dois cultivos de milho, conduzidos o primeiro na safra de 2003/04 e o segundo na safra 2004/05. Na entressafra, foi cultivada a aveia preta. Em ambas as safras, os cultivares utilizados foram híbridos simples de ciclo precoce. A semeadura do milho foi realizada manualmente em 11/12/2003 e 02/12/2004. As sementes foram distribuídas com o auxílio de uma régua, deixando-se, a cada 0,20m, duas sementes, desbastando-se para uma planta, duas semanas após a emergência, para obtenção de uma população final de aproximadamente 62.500 plantas por hectare, ou seja, cinco plantas por metro de sulco. Em 14/04/2004 e 06/04/2005, foi realizada a colheita de grãos e, posteriormente, realizou-se a roçada dos restos culturais, com uma roçadeira lateral.

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, em um esquema fatorial incompleto, com quatro repetições. Os tratamentos constaram de uma testemunha e doses de nitrogênio, na forma de sulfato de amônio (60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de N), parceladas (30 e 60 kg ha⁻¹ de N na semeadura e o restante em cobertura, no estágio de seis a oito folhas), conforme especificado na Tabela 1. A parcela

experimental consistiu de uma área de 36 m² (5,0 x 7,2 m), com nove linhas de milho, espaçadas em 0,80 m, sendo a distância entre parcelas de 2,0 m. e foram realizadas manualmente, no sulco de semeadura (adubação de plantio) e incorporadas em sulco superficial, a 0,20 m da linha da cultura

TABELA 1. Doses e parcelamentos de nitrogênio dos tratamentos utilizados.

Tratamentos	Doses de N (kg ha ⁻¹)		Total de N aplicado (kg ha ⁻¹)
	Plantio	Cobertura	
01	-	-	-
02	30	30	60
03	60	00	60
04	30*	90*	120*
05	60*	60*	120*
06	30	150	180
07	60	120	180

*Tratamentos com subparcelas adubadas com nitrogênio enriquecido (¹⁵N).

A aveia preta foi semeada em linha, manualmente, após a colheita do milho. Para semear a aveia, foi feita a retirada de toda a palhada do milho, as linhas foram espaçadas 0,20 m, empregando-se uma densidade para plantio (sementes) de 60 kg ha⁻¹ e, posteriormente, retornou-se a palhada novamente parcela. Quando as plantas de aveia atingiram o florescimento pleno, foi realizado o manejo mecânico, com roçadeira lateral de três facas, simulando um rolo faca.

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 KCl, na forma de superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente, e aplicados 5 cm ao lado e abaixo das sementes no momento da semeadura, para se evitar o contato direto com as sementes. Na aveia preta, a adubação básica foi de 30 kg ha⁻¹ de N, 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 50 kg ha⁻¹ de KCl, na forma de sulfato de amônio, superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente, feita a lanço, após a semeadura. As adubações nitrogenadas tiveram como fonte o sulfato de amônio

(adubação de cobertura), quando as plantas de milho se encontravam no estágio de 6-8 folhas totalmente desdobradas.

Para a avaliação da R(%) do N pelo milho, pelo método isotópico, demarcou-se no centro das parcelas dos tratamentos 4 e 5 (Tabela 1), uma subparcela 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. A aplicação do sulfato de amônio, na dose de 120 kg ha⁻¹ de N, enriquecido com ¹⁵N, foi feita manualmente, apenas no primeiro cultivo de milho, nas linhas de plantio das subparcelas (adubação de plantio) e quando da adubação de cobertura, o adubo foi incorporado em sulco a 0,20 m da linha de semeadura.

Foram feitas as seguintes avaliações:

- **Massa da matéria seca** - no final do ciclo da cultura do milho, foram coletadas quatro plantas por parcela. Para aveia preta, as plantas foram coletadas na época do florescimento, em uma área útil de 1,0 m² por parcela. Essas foram secadas em estufa com circulação forçada de ar a 60-70°C, até a massa constante, em balança de precisão.

- **Teor de N nas plantas** - depois de pesadas, a parte aérea das plantas (colmo+folha+pendão+palha+sabugo+grãos) foi moída, para análise por digestão-destilação Kjeldahl, segundo a metodologia descrita por Malavolta et al. (1997);

- **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;

- **Abundância de ^{15}N** - as amostras de plantas de milho e aveia preta já coletadas para massa da matéria seca foram moídas em peneira de 10 mesh, pesadas e determinadas a abundância de ^{15}N (% em átomos), por espectrometria de massa, no ANCA (Automatic Nitrogen and Carbon Analyser), segundo metodologia descrita por Barrie & Prosser (1996);

- **Recuperação do N fertilizante pelas culturas (método da diferença)** - após o primeiro e segundo ciclos do milho e após a cultura de aveia preta, foi determinado o aproveitamento (R%) do N do fertilizante pelas partes das plantas, de acordo com Trivelin (2005), como está representado na eq. (1)

$$R(\%) = \frac{NF - NC}{TNA} \times 100 \quad (1)$$

sendo: NF = N absorvido por plantas de parcelas fertilizadas (kg ha^{-1}); NC = N absorvido por plantas de parcelas não fertilizadas (kg ha^{-1}) e TNA = quantidade de N aplicado como fertilizante.

- **Recuperação do N fertilizante pelas culturas (método isotópico)** - com os resultados de abundância isotópica de N (% em átomos de ^{15}N), após o primeiro e segundo ciclos do milho e após a cultura de aveia preta, foi determinado o aproveitamento (R%) do N do fertilizante pelas partes das plantas, de acordo com a eq. (2) (Trivelin, 2005).

$$R(\%) = \frac{NPPF(\text{kg ha}^{-1})}{NF(\text{kg ha}^{-1})} \times 100 \quad (2)$$

$$NPPF(\%) = \frac{a}{b} \times 100 \quad (3)$$

sendo:

R(%) = porcentagem de recuperação do fertilizante nitrogenado pelas plantas; NPPF(%) = porcentagem de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante; a e b = as abundâncias de ^{15}N (% em átomos em excesso) na planta e no fertilizante, respectivamente; NF = dose de N-fertilizante (kg ha^{-1}). As abundâncias de átomos de ^{15}N em excesso (a e b) foram obtidas pela diferença da 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, comparação de médias e análise de contrastes, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Resultados e Discussão

Os resultados para porcentagem de recuperação de N, após o 1º cultivo de milho, foram significativos entre tratamentos, parcelamentos e interação doses/parcelamento (Tabela 2). Após a aveia preta, os resultados foram significativos para as causas de variação: tratamentos, doses e parcelamento de N. Já os resultados de porcentagem de recuperação de N, após o 2º cultivo de milho, foram significativos entre tratamentos e interação doses/parcelamento.

A porcentagem de recuperação de N pela aveia preta (efeito residual) foi maior (22%) no tratamento 30-30 (Tabela 3) e diferiu significativamente dos tratamentos com a maior dose de N aplicada (30-150 e 60-120), os quais apresentaram os menores valores. Isto deve ter ocorrido, provavelmente, pela maior recuperação de N, nessa dose, pelas plantas de milho do 1º cultivo (safra 2003/2004). Ao contrário do 1º cultivo de milho, a recuperação de N pelas plantas de aveia preta, nas doses de 120 e 180 kg ha^{-1} de N, foi

maior nos tratamentos em que se aplicaram 30 kg ha⁻¹ de N na semeadura, sendo essa diferença não significativa, enquanto que a recuperação do milho foi maior nos tratamentos em que se aplicaram 60 kg ha⁻¹ de N na semeadura.

doses, como comprovado por diversos autores. Coelho et al. (1992) apresentaram resultados de eficiência de 68,5 e 34% para as doses de 60 e 240 kg ha⁻¹ de N; Reddy & Reddy (1993) obtiveram resultados de recuperação de N de 57 e 43% com

TABELA 2. Quadrados médios e coeficientes de variação, referentes à percentagem de recuperação do N-fertilizante na parte aérea de plantas de milho (R%) no final dos 1º e 2º cultivos de milho, safras 2003/2004 e 2004/2005 e na época do florescimento da aveia-preta – método da diferença.

Causas de variação	R (%)		
	Após 1º cultivo de milho	Após aveia preta	Após 2º cultivo de milho
Tratamentos	2857,52**	111,17**	998,69**
Doses N (D)	492,83	229,26**	22,54
Parcelamento (P)	5179,98**	50,63*	21,92
D x P	4060,98**	23,34	2463,22**
Blocos	166,66	20,16	275,52
Resíduo	195,49	10,08	152,22
C.V. (%)	13,12	22,11	13,92

*e** - Significativo ao nível de 5% e 1%, respectivamente, de probabilidade pelo teste de Tukey.

Observa-se que grande parte da recuperação de N obtida pela cultura do milho, nos dois cultivos, atinge valores altos, alguns deles ultrapassando 100% (Tabela 3). De acordo com Lara Cabezas et al. (2000), esse método fornece uma medida de impacto da aplicação do fertilizante em relação ao total de N acumulado pela planta (N-solo + N-fertilizante) e assume que tanto a mineralização, a imobilização e outras transformações do N, bem como o tamanho da parte subterrânea das plantas e o volume de solo explorado são os mesmos em áreas fertilizadas ou não, o que não ocorre. Por esse motivo, geralmente ocorre uma superestimativa da R(%), quando essa metodologia é utilizada.

Outra observação feita nos resultados dos dois cultivos de milho é que a percentagem de recuperação de N não decresce com o aumento das

as doses de 100 a 200 kg ha⁻¹ de N; Fernandes et al. (2005) apresentaram média de resultados de eficiência de vários híbridos de 186, 65 e 31% para as doses de 30, 90 e 180 kg ha⁻¹ de N e Halvorson et al. (2004) encontraram valores médios de recuperação de milho em rotação com trigo e sorgo de 86, 69, 56 e 46% de recuperação para as doses de 28, 56, 84 e 112 kg ha⁻¹ de N. O aumento da eficiência de N pela cultura do milho, com o aumento das doses de N, obtido nesse experimento, pode ser devido à diminuição de perdas de N no sistema, como lixiviação, desnitrificação, volatilização ou pela alta eficiência de absorção dos próprios híbridos utilizados. De acordo com Ivanko (1972), as perdas de N por volatilização, desnitrificação e lixiviação são as grandes responsáveis pela baixa recuperação de fertilizantes nitrogenados pelas culturas.

TABELA 3. Teste de Tukey para tratamentos e parcelamento referentes à percentagem de recuperação do N-fertilizante na parte de plantas de milho (R%) no final dos 1º e 2º cultivos de milho, safras 2003/2004 e 2004/2005 e na época do florescimento da aveia-preta – método da diferença.

Tratamentos	R(%)				
	1ª	2ª	Após 1º cultivo de milho	Após aveia preta	Após 2º cultivo de milho
1	-	-	-	-	-
2	30	30	118,02	21,93 a	108,11
3	60	00	103,55	15,11 ab	65,68
4	30	90	83,96	16,95 ab	79,95
5	60	60	111,02	15,53 ab	97,51
6	30	150	73,58	8,56 b	80,68
7	60	120	149,14	8,08 b	99,81
Parcelamento	30		91,85	15,81 a	89,58
(kg ha ⁻¹)	60		121,24	12,91 b	87,68
Doses de N (kg ha ⁻¹)	60		110,79	18,52	86,89
	120		97,49	16,24	88,73
	180		111,36	8,32	90,25

Os números 1ª e 2ª se referem à aplicação de N na sementeira e no estágio de 6-8 folhas, respectivamente. O parcelamento se refere a doses de N aplicadas na sementeira. Médias seguidas por letras comuns não diferem entre si em nível de significância 5%, pelo teste de Tukey.

Na Tabela 4, estão apresentados os valores de desdobramento de parcelamento dentro de doses de N. Para o 1º cultivo de milho (safra 2003/2004), quando se utilizaram 60 kg ha⁻¹ de N na sementeira, a recuperação de N pelas plantas apresentou-se maior nas doses de 120 e 180 kg ha⁻¹ de N, nas quais se obteve, também, o maior rendimento de grãos (8.204 e 9.520 kg ha⁻¹, respectivamente). O menor valor de recuperação de N observado no 1º cultivo de milho foi no tratamento 30-150 (74%),

no qual podem ter ocorrido grandes perdas de N, principalmente por lixiviação, pois foram registradas precipitações após a aplicação de cobertura (150 kg ha⁻¹ de N) que, com certeza, influenciou nas perdas do N. Para o 2º cultivo de milho, o parcelamento de N na dose de 120 kg ha⁻¹ não apresentou diferenças significativas, todavia, na dose de 60 kg ha⁻¹ de N, as plantas recuperaram mais N na aplicação de 30 kg ha⁻¹ de N na sementeira, o que pode ter ocorrido devido à não aplicação de

cobertura no tratamento 60-0, concordando com os dados obtidos por Sainz Rozas et al. (1997b), que encontraram eficiência de 71 e 58% para fertilizante (70 kg ha⁻¹ de N) aplicado, respectivamente, todo em cobertura e todo na semeadura do milho. Já na dose de 180 kg ha⁻¹ de N, a percentagem de recuperação de N pelas plantas foi maior quando se aplicaram 60 kg ha⁻¹ de N na semeadura.

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 e Silva (2005) alcançou uma média de aproveitamento de 49% para as doses de 80, 130 e 180 kg ha⁻¹ de N. Observa-se, então, que na maioria dos trabalhos existe uma grande variação no aproveitamento de N do fertilizante pelo milho, raramente ultrapassando

TABELA 4. Teste de Tukey do desdobramento de parcelamento dentro de doses de N referentes à percentagem de recuperação de nitrogênio (R%), pelo método da diferença e rendimento de grãos da cultura do milho, safras 2003/2004 e 2004/2005.

	Aplicação de N na semeadura (kg ha ⁻¹)	Aplicação de N em cobertura (kg ha ⁻¹)	R (%)		Rendimento de grãos (kg ha ⁻¹)	
			Após 1º cultivo de milho	Após 2º cultivo de milho	Safra 2003/2004	Safra 2004/2005
Doses de N (kg ha ⁻¹)	60	30	118,02 a	108,11 a	6459 a	3557 a
		60	103,55 a	65,68 b	6160 a	3476 a
	120	30	83,96 b	79,95 a	7074 b	3857 b
		60	111,02 a	97,51 a	8204 a	5643 a
	180	30	73,58 b	80,68 b	6564 b	4978 b
		60	149,14 a	99,81 a	9520 a	6169 a

Obs: Médias na mesma linha, seguidas por letras comuns, não diferem entre si em nível de significância de 5%, pelo teste de Tukey.

Na Tabela 5, verificou-se uma diferença significativa entre os tratamentos, após o primeiro cultivo de milho e após a aveia preta, quando se calculou a percentagem de recuperação de N pelo método isotópico. No 1º cultivo (safra 2003/2004), 54 (45%) e 78 (65%) kg ha⁻¹ de N-fertilizante permaneceram no compartimento parte aérea da planta, nos respectivos tratamentos 30-90 e 60-60. Pode-se observar, também, um maior rendimento de grãos de milho (8204 kg ha⁻¹) no tratamento em que a planta apresentou maior recuperação de N (aplicação de 60 kg ha⁻¹ de N na semeadura). Liang e Mackenzie (1994) obtiveram resultados de 40 a

50% do aplicado como fertilizante inorgânico (Scivittaro et al., 2000).

Quando se estuda a eficiência do N para parcelamentos, os resultados também se demonstram variados. Para Sainz Rozas et al. (2004), a recuperação do milho foi maior quando o N foi aplicado todo na semeadura quando comparado com a aplicação no estágio V. Cantarella et al. (2003) encontraram 48% para o N aplicado em pré-semeadura e 66% para o N aplicado em cobertura e Campos (2004) obteve 40% em pré-semeadura e 79% em cobertura. Essas diferenças são em virtude de diversos fatores, principalmente condições

edafoclimáticas, o tipo de fertilizante e, principalmente, o sistema de cultivo (Lara Cabezas et al., 2000). Nesse sentido, a dose de N de 60 kg ha⁻¹ aplicada na semeadura proporcionou maior recuperação de N pela parte aérea da planta (65%) e, conseqüentemente, maior rendimento de grãos, provavelmente, devido à não-ocorrência de chuvas logo após a semeadura, o que pode ter proporcionado uma maior absorção inicial de N pelas plantas.

em virtude, provavelmente, da maior quantidade de N na planta proveniente do fertilizante, que foi de 3,40 kg ha⁻¹.

Após o cultivo de milho (safra 2003/2004), aveia preta (safra 2004) e 2º cultivo de milho (safra 2004/2005), a recuperação do N-sulfato de amônio (aplicado no 1º cultivo de milho) pelas plantas totalizou 49 e 72%, para os tratamentos 30-90 e 60-60, respectivamente. Isso implica que, após a

TABELA 5. Teste de Tukey para os tratamentos 4 e 5, referentes à percentagem de recuperação do N-fertilizante na parte de plantas de milho (R%) no final dos 1º e 2º cultivos de milho, safras 2003/2004 e 2004/2005 e na época do florescimento da aveia-preta – comparação entre o método da diferença e o método isotópico.

Tratamentos	Aplicação de N (kg ha ⁻¹)		R (%)					
	1 ^a	2 ^a	Após o 1º cultivo de milho		Após aveia preta		Após 2º cultivo de milho	
			Método da diferença	Método Isotópico	Método da diferença	Método Isotópico	Método da diferença	Método Isotópico
4	30	90	83,96 aB	45,06 bB	15,53 aA	1,97 bB	79,95 aA	2,06 bA
5	60	60	111,02 aA	65,00 bA	16,95 aA	3,72 bA	97,51 aA	2,84 bA

Os números 1^a e 2^a se referem à aplicação de N na semeadura e no estágio de 6-8 folhas, respectivamente. Médias na mesma coluna e linha, seguidas por letras comuns maiúscula e minúscula, respectivamente, não diferem entre si em nível de significância de 5%, pelo teste de Tukey.

Após o cultivo de aveia preta (safra 2004), observa-se um efeito residual de 2,4 (2%) e 4,8 (4%) kg ha⁻¹ de N na parte aérea da cultura, para os tratamentos 30-90 e 60-60, respectivamente. Já após o 2º cultivo de milho (safra 2004/2005), esses valores de efeitos residuais de N-fertilizante diminuíram para 2,4 (2%) e 3,6 (3%) kg ha⁻¹ de N para parte aérea do milho. Apesar de não-significativo, o tratamento 60-60 apresentou maior recuperação (2,84%) do fertilizante residual, na parte aérea do milho, do que o tratamento 30-90 (2,06%),

sucessão milho - aveia preta - milho, 51 e 28% permaneceram no solo ou foram perdidos por desnitrificação na forma de amônia, pelas plantas, já que as lixiviações após o cultivo de aveia preta e após 2º cultivo de milho, foram baixas. Quanto à volatilização, também pode ser considerada desprezível, pois o adubo, quando na aplicação, foi incorporado.

Comparado-se os valores de R(%) obtidos pelo método da diferença e pelo método isotópico, verificou-se que houve diferença significativa entre

os métodos utilizados, após os dois cultivos de milho e aveia preta (Tabela 5). Os valores obtidos pelo método isotópico foram bem menores que os obtidos pelo método da diferença. Neptune (1977) afirmou que o método da diferença dá, freqüentemente, uma eficiência maior do N aplicado em relação ao método isotópico, sendo encontrados, freqüentemente, valores de recuperação acima de 100%. Após o primeiro cultivo, as percentagens de recuperação de N encontradas na parte aérea do milho, para os tratamentos 30-90 e 60-60, foram de 45 e 65% e 84 e 111%, respectivamente, pelo método isotópico e pelo método da diferença. Isso significa que a utilização do método da diferença superestimou os valores de R(%) em aproximadamente 86,0 e 71,0% e o método isotópico, para os tratamentos 30-90 e 60-60, respectivamente.

Após o cultivo de aveia preta (Tabela 5), o método da diferença apresentou valores de R(%) de 15,53 e 16,95%, o que superestima em, aproximadamente, 688,0 e 355,0% os valores apresentados pelo método isotópico, para os tratamentos 30-90 e 60-60.

Os valores de R(%) obtidos após a segundo cultivo de milho (Tabela 5), pelo método isotópico, foram, em média, de mais de 3000% menores que o método da diferença. A explicação, além da superestimação do próprio método, pode ser devido à aplicação de N na cultura (semeadura e quando as plantas apresentavam de 6 a 8 folhas), pois, como já comentado anteriormente, o método da diferença fornece uma medida do impacto da aplicação do fertilizante ao total de N acumulado pela planta (N-solo + N-fertilizante) e assume que tanto a mineralização, a imobilização e outras transformações do N, bem como o tamanho da parte subterrânea das plantas e o volume de solo explorado são os mesmos em áreas fertilizadas ou não. Esses resultados podem implicar a não utilização do

método da diferença para estudos de efeitos residuais, geralmente utilizados em experimentos de semeadura direta.

Conclusões

A recuperação do N, pelo método da diferença, após os cultivos de milho, não diminuiu quando aumentou a dose de N aplicada e, para as doses de 120 e 180 kg ha⁻¹ de N, a aplicação de 60 kg ha⁻¹, na semeadura, foi a que apresentou maior recuperação de N pelas plantas de milho.

Na dose de 120 kg ha⁻¹ de N, o valor de percentagem de recuperação de N pelas plantas, encontrado pelo método da diferença, após o 1º cultivo de milho, foi superestimado, em média, 78,5%, quando comparado ao encontrado pelo método isotópico.

O método da diferença não deve ser utilizado para estudos de efeitos residuais.

Literatura Citada

BARRIE, A.; PROSSER, S. J. Automated analysis of light-element stable isotopes by isotope ratio spectrometry. In: BOUTTON, T. W.; YAMASAKI, S. (Ed.). **Mass spectrometry of soil**. New York: Marcel Dekker, 1996. 146 p.

CAMPOS, A. X. de. **Fertilização com sulfato de amônio na cultura do milho em um solo do cerrado de Brasília sob pastagem de *Brachiaria decumbens***. 2004. 119 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

CANTARELLA, H.; LERA, F. L.; BOLONHEZI, D.; LARA CABEZAS, W. A. R.; TRIVELIN, P. C. O. Antecipação de N em milho em sistema de plantio direto usando ¹⁵N-uréia. In: CONGRESSO

- BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Resumos...** Ribeirão Preto: SBSCS, 2003. CD-ROM.
- COELHO, A. M.; FRANÇA, G. C.; BAHIA, A. F. C.; GUEDES, G. A. Doses e métodos de aplicação de fertilizantes nitrogenados na cultura do milho sob irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 16, n. 1, p. 61-67, 1992.
- FERNANDES, L. A.; FURTINI NETO, A. E.; VASCONCELOS, C. A.; GUEDES, G. A. A. Preparo do solo e adubação nitrogenada na produtividade de milho em latossolo sob vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, p. 247-254, 1998.
- FERNANDES, F. C. S.; BUZETTI, S.; ARF, O.; ANDRADE, J. A. C. Doses, eficiência e uso de nitrogênio por seis cultivares de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 4, p. 195-204, 2005.
- GAVA, G. J. C. **Compartimentalização do nitrogênio no sistema solo-planta na implantação na implantação do semeadura direta no ciclo da cultura do milho**. 2003. 125 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- HALVORSON, A. D.; NIELSEN, D. C.; REULE, C. A. Nitrogen fertilization and rotation effects on no-till dryland wheat production. **Agronomy Journal**, Madison, v. 96, p. 1196-1201, 2004.
- HOEFT, R.G. Desafios para a obtenção de altas produtividades de milho e de soja nos EUA. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 104, p. 1-4, 2003.
- IVANKO, S. Recent progress in the use of ¹⁵N in research on nitrogen balance studies sin soil plant relationship. In: SYMPOSIUM ON THE USE OF ISOTOPES AND RADIATION IN RESEARCH ON SOIL-PLANT RELATIONSHIPS INCLUDING APPLICATIONS IN FORESTRY, 1971, Vienna. **Proceedings...** Vienna, International Atomic Energy Agency, 1972. p. 483-497. (Proceedings Serie).
- LANTMANN, A. F et al. Adubação nitrogenada no Estado do Paraná. In: SANTANA, M. B. M.(Coord). **Adubação nitrogenada no Brasil**. Ilhéus: CEPLAC, 1986. p. 19-46.
- 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., 2002, Florianapolis. **Meio ambiente e a nova agenda para o agronegocio de milho e sorgo**: [resumos expandidos]. Sete Lagoas: ABMS: Embrapa Milho e Sorgo; Florianópolis: Epagri, 2002. CD-ROM. Seção Trabalhos
- LARACABEZAS; W.A. R.; TRIVELIN, P. C. O.; KONDORFER, 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). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 363-376, 2000.
- LEGG, J. O.; MEISINGER, J. J. Soil nitrogen budgest. In: STEVENSON, F. J.(Ed.). **Nitrogen in agricultural soil**. Madison: American Society of Agronomy: 1982. p. 503-557.

- LIANG, B. C.; MACKENZIE, A. F. Corn yield, nitrogen uptake and nitrogen use efficiency as influenced by nitrogen fertilization. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 74, n. 2, p. 235-240, 1994.
- MALAVOLTA E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319 p.
- NEPTUNE, A. M. L. Efeito de diferentes épocas e modos de aplicação do N na produção de milho, na quantidade de proteína, na eficiência do fertilizante e na diagnose foliar, utilizando o sulfato de amônio ¹⁵N. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, v. 34, p. 515-539, 1977.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. 285 p. (Boletim Técnico, 100).
- REDDY, G. B., REDDY, K. R. Fate of nitrogen-15 enriched ammonium nitrate applied to corn. **Soil Science Society of the America Journal**, Madison, v. 57, p. 111-115, 1993.
- SÁ, J. C. M. Reciclagem de nutrientes dos resíduos culturais, e estratégia de fertilização para produção de grãos no sistema plantio direto. In: SEMINÁRIO SOBRE O SISTEMA PLANTIO DIRETO NA UFV, 1., 1998, Viçosa, MG. **Resumos de palestras...** Viçosa: SBCS, 1998. p. 19-61.
- SAINZ ROZAS, H. R.; ECHEVERRÍA, H. E.; STUDDERT, G. A.; ANDRADE, F. H. Ammonia volatilization from urea applied to no tillage maize. **Ciencia del Suelo**, Buenos Aires, v. 15, p. 12-16, 1997b.
- SAINZ ROZAS, H. R. et al. Nitrogen Balance as Affected by Application Time and Nitrogen Fertilizer Rate in Irrigated No-Tillage Maize. **Agronomy Journal**, Madison, v. 96, p. 1622-1631, 2004.
- SCIVITTARO, W. B.; MURAOKA, T.; BOARETTO, A. E.; TRIVELIN, P. C. O. Transformações do nitrogênio proveniente de mucuna-preta e uréia utilizados como adubo na cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa v. 24, p. 917-926, 2000.
- SILVA, E. C. **Manejo da adubação nitrogenada e utilização do nitrogênio (¹⁵N) da uréia, do milho e da crotalária pelo milho sob semeadura direta em solo de cerrado**. 2005. 111 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- SISTEMA brasileiro de classificação de solos. Brasília, DF: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.
- TIMMONS, D. R.; CRUSE, R. M. Effect of fertilization method and tillage on nitrogen-15 recovery by timing, rate and tillage. **Agronomy Journal**, Madison, v. 82, p. 777-784, 1990.
- TRIVELIN, P. C. O. **O método do traçador isotópico para nitrogênio**. Disponível em: <http://web.cena.usp.br/apostilas/Trivelin/CEN5747/Apostilas/06MetTra%C3%A7adorN.doc>. Acesso em: 16 mar. 2005.