

COMISSÃO IV - FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

BALANÇO DE NITROGÊNIO (^{15}N) EM UM LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO, SOB VEGETAÇÃO DE CERRADO, CULTIVADO COM MILHO⁽¹⁾

A. M. COELHO⁽²⁾, G. E. FRANÇA⁽²⁾, A. F. C. BAHIA⁽²⁾ & G. A. A. GUEDES⁽³⁾

RESUMO

O balanço do nitrogênio no sistema solo-planta foi determinado pela técnica do isótopo ^{15}N para o milho cultivado em um latossolo vermelho-escuro fase cerrado. Uréia, contendo 5,505 % átomos de ^{15}N em excesso, na dose de 60kg de N/ha, foi aplicada, quando as plantas atingiram sete a oito folhas, de dois modos: (a) na superfície a aproximadamente 15cm da planta, e (b) incorporada ao solo a 7,5cm. O método de aplicação da uréia não afetou a recuperação do N do fertilizante pelo milho. As porcentagens de N proveniente do fertilizante foram semelhantes nos grãos, folha + palha e colmo + pendão, em função da pequena variação na composição isotópica do N nessas partes da planta. O balanço do N no sistema solo-planta mostrou que dos 60kg de N/ha aplicados na forma de uréia, 56% foram extraídos pela cultura (34kg de N/ha), 23% permaneceram no solo na camada de 0-90cm (14kg de N/ha) e 15% perderam-se do sistema (9kg de N/ha). A perda por lixiviação correspondeu a 4% (2kg de N/ha) do total do N aplicado, sendo o restante atribuído a outros processos não determinados no trabalho.

Termos de indexação: ^{15}N -uréia, balanço no sistema solo-planta, solo tropical, milho.

SUMMARY: NITROGEN (^{15}N) BALANCE ON A DARK RED LATOSOL UNDER "CERRADO" VEGETATION CULTIVATED WITH MAIZE

A balance of ^{15}N -labeled nitrogen fertilizer applied to maize crop was carried out in the field on a dark red latosol. Two methods of application were tested for ^{15}N -urea enriched with 5.505 atom % in excess: a) urea applied to the soil surface, 15cm apart from the plant row, and b) urea applied at a depth of 7.5cm. Fertilizer was applied at the rate of 60 kg N/ha when plants reached the 7-8 leaf stage. Nitrogen uptake by the maize plants was not affected by the method of urea application. The proportion of nitrogen derived from urea was similar for kernels, leaves + husk and stem + tassel. The nitrogen balance sheet of the soil-plant system indicated that of the ^{15}N -urea applied, 56% was taken up by the plant (34kg N/ha), 23% was found in the 0-90cm soil layer (14kg N/ha), and 15% was lost from the system (9kg N/ha). Leaching losses were 4% (2kg N/ha), of the total nitrogen applied. The remaining nitrogen, not recovered in the balance, was attributed to other losses not quantified in this study.

Index terms: ^{15}N -urea, soil-plant nitrogen balance, tropical soil, maize.

⁽¹⁾ Parte do trabalho de tese do primeiro autor, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Solos e Nutrição de Plantas), Departamento de Ciências do Solo, Escola Superior de Agricultura de Lavras (ESAL). Financiado pela EMBRAPA/CNPMS. Trabalho apresentado na 18.^a Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo. Recebido para publicação em maio de 1990 e aprovado em fevereiro de 1991.

⁽²⁾ Pesquisador da EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, Caixa Postal 151, CEP 35700 Sete Lagoas (MG)

⁽³⁾ Professor da ESAL, Departamento de Ciências do Solo, Caixa Postal 37, CEP 37200 Lavras (MG).

INTRODUÇÃO

O nitrogênio é um dos nutrientes que mais limitam a produção de alimentos no mundo, especialmente a de gramíneas. Em solos tropicais, das regiões úmidas e periodicamente úmidas, é necessário o uso de fertilizantes nitrogenados para manter altas produções (Fox et al., 1974; EMBRAPA, 1980; Grove et al., 1980), devido, sobretudo, à baixa eficiência na utilização tanto do N nativo como do N fertilizante aplicado (Bartholomew, 1975). A baixa recuperação de fertilizantes nitrogenados por cultura em condições tropicais, em torno de 50% (Fox et al., 1974; Dalal, 1975, e Grove et al., 1980), tem sido atribuída ao grande potencial de perdas, sendo a lixiviação, desnitrificação e volatilização de amônia (NH_3) os mecanismos mais importantes (Gamboa et al., 1971). A imobilização do N-fertilizante na fração orgânica do solo pode também contribuir para essa baixa recuperação.

Informações sobre o manejo adequado do nitrogênio em solos da região tropical são ainda limitadas (Grove et al., 1980; Peres & Suhet, 1985), assim como estudos de balanço de nitrogênio utilizando-se a técnica do isótopo ^{15}N como traçador.

Diversos autores têm revisado e discutido as vantagens do uso do isótopo ^{15}N em estudos do balanço do nitrogênio (Hauck & Bremner, 1976; Hauck, 1982, e Legg & Meisinger, 1982). A principal vantagem está no aumento da sensibilidade em traçar o destino do N do fertilizante no sistema solo-planta. O uso do isótopo ^{15}N pode, assim, aumentar a precisão nos trabalhos de balanço de N se estimativas reais dos vários compartimentos do N puderem ser obtidas através de coleta de amostras representativas para análise, experimentos com adequado número de repetições e controle local (Legg & Meisinger, 1982). A maior limitação do método do traçador ^{15}N é o alto custo inicial do material experimental e de equipamentos envolvidos. Os resultados de experimentos sobre o balanço do N no sistema solo-planta, utilizando-se da técnica do isótopo ^{15}N , realizados em condições de campo com as culturas de milho (*Zea mays* L.) e sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) (Filipovic, 1980; Olson, 1980; Bigeriego et al., 1979; Kitur et al., 1984, e Moraghan et al., 1984), indicaram valores de recuperação do N-fertilizante pelas culturas tão baixos como 30% e tão altos como 83%; entretanto, valores em torno de 50% foram os mais comumente observados. Outra característica importante desses resultados é que grandes quantidades (40%) do N-fertilizante permaneceram no solo como N residual, sendo a maior proporção encontrada nas camadas superficiais (0-30cm), principalmente na forma orgânica. A recuperação do N-fertilizante no sistema solo-planta apresentou valores de 70 a 97%. As perdas (3 a 30%) observadas nesses experimentos foram atribuídas, principalmente, aos processos de desnitrificação e/ou volatilização de amônia, devido às pequenas quantidades de N-fertilizante encontradas nas camadas mais profundas (100-200cm) dos perfis dos solos.

No Brasil, Libardi & Reichardt (1978), Meirelles et al. (1980) e Reichardt et al. (1982) estudaram o balanço de N nas culturas de milho (*Zea mays* L.) e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) adubadas com 100kg de N/ha, empregando sulfato de amônio marcado com ^{15}N . Nesses experimentos, as perdas do N do fertilizante foram de 9% para a cultura do feijão e de 18% para a do milho. Libardi et al. (1983) obtiveram em três cultivos sucessivos, dois de feijão e um de milho, uma recu-

peração do N-fertilizante no sistema solo-planta de $98,64 \pm 5,75\%$, aplicado como sulfato de amônio na dose de 42kg de N/ha.

As informações desses trabalhos indicam que a maioria do N-fertilizante residual do solo foi imobilizada pela matéria orgânica na camada superficial (0-30cm) e que as perdas de N do sistema são pequenas quando não se aplica fertilizante em excesso, até 100kg/ha.

O objetivo principal deste trabalho foi estudar a dinâmica do N no sistema solo-planta da cultura do milho, através da avaliação do balanço, em função do método de aplicação na superfície e incorporado ao solo, do fertilizante uréia marcado com ^{15}N .

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi efetuado em condições de campo, em área experimental do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (CNPMS-EMBRAPA), Sete Lagoas (MG), em um latossolo vermelho-escuro epidistrófico endoálico A moderado, textura muito argilosa, relevo suave ondulado, fase cerrado, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação.

Amostras de material de solo, coletadas na camada superficial (0-20cm), foram caracterizadas quimicamente: pH em H_2O (1:2,5) 5,90; Al^{3+} 0,00 meq/100cm³; Ca^{2+} 3,20 meq/100cm³; Mg^{2+} 1,80 meq/100cm³ (KCl 1N); P 3ppm e K 39ppm (Mehlich); N-total 0,14% (macro-Kjeldahl); NH_4^+ 5ppm (MgO); N-($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$) 3ppm (liga de Devarda) e MO 3,55% (% C x 1,724).

Os tratamentos receberam adubação corretiva com fósforo, potássio e zinco, nas doses de 200kg de P_2O_5 /ha, 100kg K_2O /ha e 9kg de Zn/ha, utilizando-se como fonte de adubos superfosfato triplo, cloreto de potássio e sulfato de zinco respectivamente. Os fertilizantes foram aplicados a lanço e incorporados ao solo, na profundidade de 10cm, por meio de uma enxada rotativa. A adubação de plantio, comum aos tratamentos, realizou-se com a aplicação de 10-90-60kg/ha de N, P_2O_5 e K_2O respectivamente, utilizando como adubos a uréia (não enriquecida em ^{15}N), superfosfato triplo e cloreto de potássio.

O experimento foi efetuado em delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições e dois tratamentos, constituídos pela aplicação de uréia na superfície e incorporada ao solo a 7,5cm de profundidade, na dose de 60kg de N/ha, quando as plantas se apresentavam com sete-oito folhas, correspondendo a 37 dias após a semeadura. Para a uréia incorporada, abriram-se sulcos de aproximadamente 7,5cm de profundidade, a 15cm das plantas, sendo o fertilizante distribuído uniformemente nos sulcos e coberto com terra. A aplicação na superfície foi feita lateralmente em filete a 15cm das plantas.

A parcela experimental constou de uma área de 56m² (8,0 x 7,0m), com sete linhas de milho espaçadas em 1,0m. Para aplicação da uréia (45,88% N), enriquecida com 5,505% átomos de ^{15}N em excesso, foi demarcada, a 1,0m da extremidade da parcela, uma microparcela de 2,6 x 3,0m (7,8m²) (Figura 1). As microparcels foram protegidas nas laterais por quadros de madeira de dimensões idênticas às suas e altura de 15cm, sendo enterrados 5cm no solo e tendo no interior uma

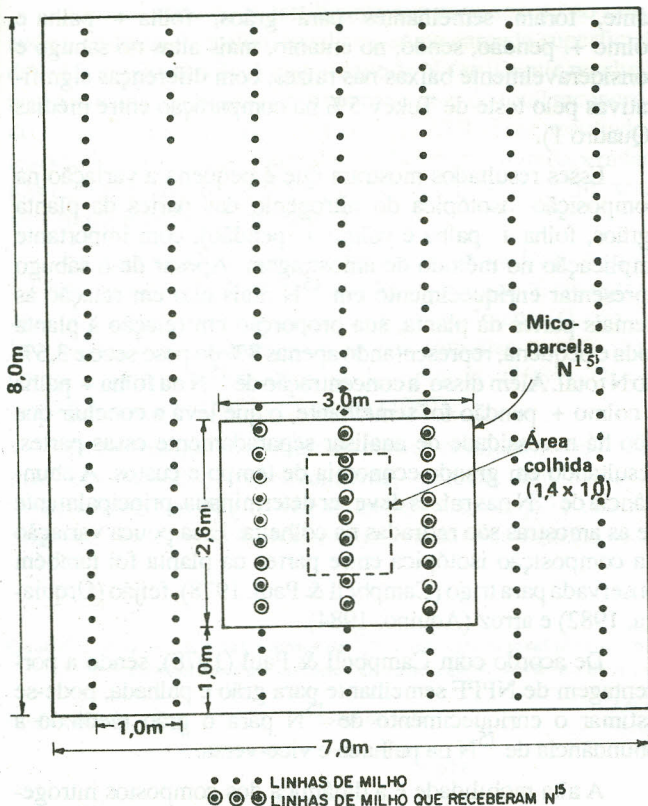


Figura 1. Parcela experimental mostrando a disposição da microparcela para aplicação da uréia enriquecida com ^{15}N .

lona plástica de 30cm de largura, enterrada 10cm. Esses quadros tiveram por finalidade evitar a perda do fertilizante nitrogenado por escoamento superficial com água da chuva ou de irrigação.

Na área, ao redor da microparcela (Figura 1), aplicou-se, como fonte de N, uréia comercial com 45% N, não enriquecida com ^{15}N , na dose de 60kg de N/ha.

A semeadura foi realizada em 01-10-86, utilizando-se sementes do híbrido simples Ag 8631 (Agrocere S.A.), tratadas com inseticida sistêmico, Semevin - 2,0 litros/100kg de semente. Foram distribuídas dez sementes/metro linear de sulco, procedendo-se ao desbaste 21 dias após a semeadura, de modo a se obter uma população de 50.000 plantas/hectare na colheita.

Visando ao controle de plantas daninhas depois da semeadura, foi aplicado herbicida Primextra, 8,0 litros/hectare.

Foi utilizado o sistema de irrigação por aspersão, estimando-se a necessidade de irrigação através do balanço de água no solo. Durante o ciclo do milho, a área experimental recebeu 1.100mm de água, sendo 769mm via chuva e 331mm via irrigação. A evapotranspiração real da cultura do milho (ET_r), da emergência à colheita, foi de 605mm (média de 3,78mm/dia).

Realizou-se a colheita em 18-3-87, com os grãos apresentando um teor médio de umidade de 12%, e avaliaram-se os seguintes parâmetros.

Nitrogênio na planta - Dentro de cada microparcela (Figura 1), colheram-se sete plantas em 1,40m linear da fileira central, para determinação de matéria seca (60°C), análises de N-total e ^{15}N . As plantas foram separadas em grãos, sabugo,

folha + palha, colmo + pendão e raízes. O N-total foi determinado pelo método macro-Kjeldahl modificado, para incluir nitrato, de acordo com o método descrito por Buresh et al. (1982).

Nitrogênio no solo - As amostras de material de solo para análises de N-total e N-inorgânico (NH_4^+ , $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^+$), foram coletadas no centro de cada microparcela, em uma área de 100 x 100cm, nas profundidades de 0-15, 15-30, 30-45 e 45-60cm, como proposto por Buresh et al. (1982). Para evitar a contaminação das amostras pelo solo da camada superficial, utilizou-se um quadro de metal com 100 x 100 x 35cm, enterrando-o no solo até a profundidade de 30cm, à medida que se efetuava a amostragem (Figura 2). Abaixo de 60cm (60-90, 90-120 e 120-150cm), o solo foi amostrado com trado de caneca, em cinco pontos, nas duas diagonais do buraco escavado (100 x 100 x 60cm), conforme figura 2. Para tanto, uma folha de compensado, com 90 x 90 x 1,5cm contendo cinco furos, foi colocada no fundo do buraco (Figura 2). A coleta de raízes na área delimitada pelo quadro de metal (Figura 2) até a profundidade de 60cm foi realizada à medida que cada camada ia sendo removida, separando-as do solo através de peneiramento em peneira de malha de 5mm e, posteriormente, lavando-as com água de torneira e água desmineralizada.

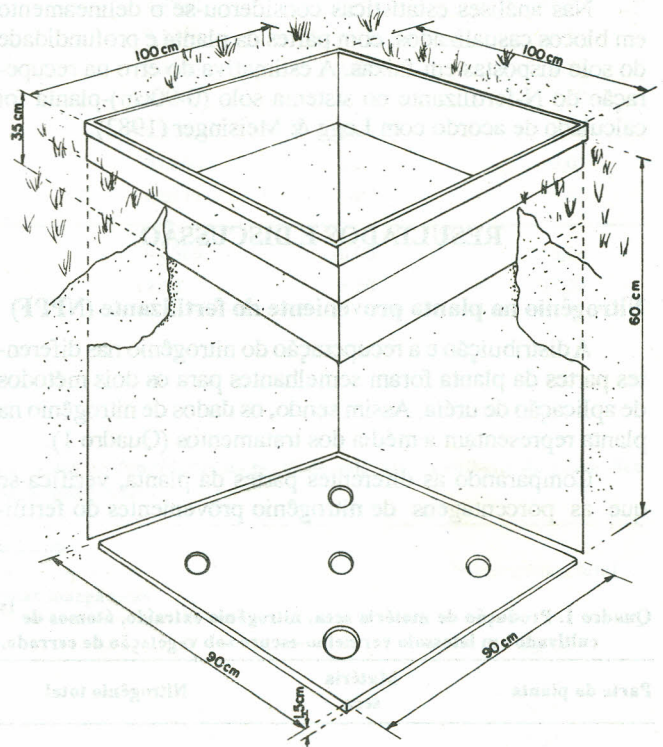


Figura 2. Representação esquemática do quadro de metal e da folha de compensado utilizados nas amostragens de solo nas microparcelsas tratadas com ^{15}N .

Amostras de material de solo para determinação da densidade aparente foram retiradas do centro de cada camada, utilizando-se cilindros de Uhland e anéis volumétricos de 100,14cm³. Na área escavada, a amostragem foi realizada no perfil do solo, após a remoção de cada camada. As análises de

N-total foram realizadas pelo método macro-Kjeldahl, modificado para incluir nitrito e nitrato, determinando-se também as concentrações de N-inorgânico, de acordo com os métodos descritos por Buresh et al. (1982).

Determinação da relação isotópica e porcentagem de N nas amostras – Para as análises da composição isotópica ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) do N contido nas amostras de material de solo, planta e extrato de solo, estas foram processadas de acordo com os métodos descritos por Hauck & Bremner (1976) e Buresh et al. (1982). A determinação da composição isotópica do N foi efetuada em espectrômetro de massa VG Isogas Modelo 900 do CNPDS/EMBRAPA, km 47, Rio de Janeiro. A concentração de ^{15}N era considerada em excesso no material de solo e planta se os valores obtidos das análises no espectrômetro ultrapassassem a abundância natural (0,3663% átomo de ^{15}N).

Balanco do N-fertilizante no sistema solo-planta – No cálculo desse balanço, foi considerada a soma da porcentagem de recuperação do N nas partes das plantas (grãos, sabugo, colmo + pendão e folha + palha) e no solo, nas camadas de 0-15 (incluindo raízes), 15-30, 30-60 e 60-90cm. O N-fertilizante recuperado nas camadas abaixo de 90cm foi considerado como perdido por lixiviação, uma vez que, nas condições em que foi realizado o trabalho, o sistema radicular do milho não ultrapassou essa profundidade.

Nas análises estatísticas considerou-se o delineamento em blocos casualizados, com partes da planta e profundidade do solo dispostas em faixas. A estimativa do erro na recuperação do N-fertilizante no sistema solo (0-90cm)-planta foi calculado de acordo com Legg & Meisinger (1982).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (NPPF)

A distribuição e a recuperação do nitrogênio nas diferentes partes da planta foram semelhantes para os dois métodos de aplicação de uréia. Assim sendo, os dados de nitrogênio na planta representam a média dos tratamentos (Quadro 1).

Comparando as diferentes partes da planta, verifica-se que as porcentagens de nitrogênio provenientes do fertili-

zante, foram semelhantes para grãos, folha + palha e colmo + pendão, sendo, no entanto, mais altas no sabugo e consideravelmente baixas nas raízes, com diferenças significativas pelo teste de Tukey 5% na comparação entre médias (Quadro 1).

Esses resultados mostram que é pequena a variação na composição isotópica do nitrogênio das partes da planta (grãos, folha + palha e colmo + pendão), com importante implicação no método de amostragem. Apesar de o sabugo apresentar enriquecimento em ^{15}N mais alto em relação às demais partes da planta, sua proporção em relação à planta toda é pequena, representando apenas 8% do peso seco e 3,6% do N total. Além disso, a concentração de ^{15}N na folha + palha e colmo + pendão foi semelhante, o que leva a concluir que não há necessidade de analisar separadamente essas partes, resultando em grande economia de tempo e custos. A abundância de ^{15}N nas raízes deve ser determinada, principalmente se as amostras são retiradas na colheita. Essa pouca variação na composição isotópica entre partes da planta foi também observada para trigo (Campbell & Paul, 1978), feijão (Urquiaga, 1982) e arroz (Aquino, 1984).

De acordo com Campbell & Paul (1978), sendo a porcentagem de NPPF semelhante para grão e palhada, pode-se estimar o enriquecimento de ^{15}N para o grão medindo a abundância de ^{15}N na palhada e vice-versa.

A alta mobilidade e a dinâmica dos compostos nitrogenados dentro da planta são as causas da pequena variação na composição isotópica do N nas diferentes partes da planta (Urquiaga, 1982, e Aquino, 1984). O resultado de síntese e degradação contínua de compostos nitrogenados é a razão da alta mobilidade (Hill, 1980, citado por Aquino, 1984).

Nitrogênio no solo proveniente do fertilizante (NSPF)

Nitrogênio total - O método de aplicação do N-uréia não afetou significativamente (teste F) a distribuição de nitrogênio do fertilizante no perfil do solo; as concentrações de átomos de ^{15}N , teor (%) e quantidade (kg/ha), assim como a porcentagem de recuperação do N do fertilizante, apresentaram resultados semelhantes para a uréia aplicada na superfície ou enterrada. A porcentagem de recuperação do N do fertilizante na camada de 0-90cm foi em média de 23% para ambos os métodos de aplicação da uréia.

Quadro 1. Produção de matéria seca, nitrogênio extraído, átomos de ^{15}N , nitrogênio derivado do fertilizante e recuperação do N-uréia, pelo milho cultivado em latossolo vermelho-escuro sob vegetação de cerrado. Sete Lagoas, 1987. (Dados médios dos dois modos de aplicação.)

Parte da planta	Matéria seca		Nitrogênio total		Átomos % de ^{15}N -excesso		N-proveniente do fertilizante		Recuperação ⁽¹⁾	
	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%		
Grãos	5.491	1,409	77,64		1,8070		32,82	25,10		41,83
Sabugo	1.000	0,396	3,93		2,0841		37,86	1,48		2,47
Folha + palha	3.385	0,489	16,68		1,6968		30,82	5,06		8,43
Colmo + pendão	1.954	0,315	6,20		1,7014		31,74	1,93		3,21
Raiz	595	0,572	3,40		1,0894		19,79	0,67		1,11
Total	12.425		107,85					34,24		57,05
DMS (Tukey 5%)	290	0,102	8,00		0,0830		2,78	1,90		3,15
CV%	7,31	10,00	23,00		3,10		5,70	17,30		17,30

⁽¹⁾ Recuperação em relação à dose de N aplicado.

A maior parte do N-fertilizante que permaneceu no solo, após a colheita do milho, localizou-se na camada superficial de 0-15cm (Quadro 2). A quantidade de N-fertilizante residual nessa camada, expressa como porcentagem do total recuperado no perfil do solo (0-90cm), atingiu 67%. Esse resultado, associado às pequenas quantidades (2kg de N/ha) recuperadas nas camadas abaixo de 90cm, indica que o N do fertilizante teve baixa mobilidade no solo (Quadro 2).

Experimentos de campo utilizando-se da técnica com ¹⁵N têm mostrado que as quantidades de N residual encontradas no solo, embora variem consideravelmente (Legg & Meisinger, 1982), concentram-se nas camadas superficiais, como mostram os trabalhos de Kitur et al. (1984), Olson (1980), Urquiaga (1982) e Coelho (1987).

Os fatores que contribuíram para os resultados encontrados neste trabalho, provavelmente, incluem: uso de dose moderada de N (60kg de N/ha), época de aplicação e cultura altamente extrativa. A produtividade média de matéria seca

da parte aérea foi de 11.830kg/ha com uma extração total de 104,5kg de N/ha e uma exportação de 78kg de N/ha nos grãos (Quadro 1). Portanto, o balanço do nitrogênio aplicado como fertilizante e do nitrogênio extraído pela cultura foi negativo, situação essa pouco favorável à perda por lixiviação.

Nitrogênio inorgânico

A maior proporção do nitrogênio residual do fertilizante foi imobilizada na matéria orgânica do solo; as formas inorgânicas representam entre 10,7 e 27,7% do N fertilizante recuperado no perfil do solo. Esta é, provavelmente, uma das causas da pequena movimentação do N-fertilizante nesse solo. Observa-se um acúmulo de N inorgânico (84,60kg de N/ha) abaixo de 90cm (Quadro 3). A quase totalidade desse N (99%) é proveniente da mineralização da matéria orgânica do perfil do solo, ou mesmo devido ao movimento ascendente do nitrato pelo fluxo de água no solo, nessa profundidade.

Quadro 2. Nitrogênio total, átomos de ¹⁵N, e nitrogênio total proveniente do fertilizante no perfil do solo após a colheita do milho. Sete Lagoas, 1987. (Dados médios dos dois métodos de aplicação da uréia, na dose de 60kg de N/ha.)

Profundidade cm	N total no solo		Átomos de ¹⁵ N-excesso		N-total proveniente de fertilizante		Recuperação ⁽²⁾	
	%	kg/ha	%		%	kg/ha	%	
0-15 ⁽¹⁾	0,153	1.758	0,0271		0,4920	9,28	15,45	
15-30	0,116	1.279	0,0068		0,1240	1,58	2,64	
30-45	0,093	957	0,0063		0,1150	1,09	1,80	
45-60	0,081	819	0,0051		0,0930	0,76	1,27	
60-90	0,071	1.574	0,0042		0,0763	1,20	1,98	
90-120	0,064	1.492	0,0044		0,0806	1,21	2,03	
120-150	0,057	1.344	0,0045		0,0811	1,09	1,83	
DMS (Tukey 5%)	0,007	173	0,0020		0,0360	0,60	0,98	
CV %	5,00	8,00	14,60		14,60	15,50	15,34	

(1) Inclui recuperação do N-fertilizante nas raízes + solo.

(2) Recuperação em relação à dose de N aplicado.

Quadro 3. Recuperação do nitrogênio do fertilizante nas formas inorgânicas a várias profundidades no perfil do solo, após a colheita do milho. Sete Lagoas, 1987. (Dados médios dos métodos de aplicação da uréia, na dose de 60kg N/ha.)

Profundidade cm	Recuperação do N-fertilizante			N-inorgânico total ⁽¹⁾ kg/ha
	Total kg/ha	Formas inorgânicas		
		kg/ha	%	
0-15	9,28	1,687	18,05	8,54
15-30	1,58	0,199	12,50	9,25
30-45	1,09	0,131	12,04	7,54
45-60	0,76	0,089	10,71	3,84
60-90	1,20	0,300	26,04	9,94
90-120	1,21	0,336	27,70	29,87
120-150	1,09	0,305	27,05	54,67
Total	16,21	3,047		123,65
DMS (Tukey 5%)	0,60	0,330	4,44	10,20
CV %	15,50	46,00	14,00	35,00

(1) Inclui N-inorgânico do fertilizante e da mineralização da matéria orgânica.

Balanco do nitrogênio proveniente do fertilizante no sistema solo-planta

O balanço do nitrogênio do fertilizante no sistema solo-planta (Quadro 4) mostra que 24 e 26kg de N/ha (40 e 44%) foram removidos com os grãos, e apenas 8 e 9kg de N/ha (13 e 15%) na matéria seca da parte aérea; 14kg de N/ha (23%) permaneceram no solo como N-residual na profundidade de 0-90cm. Pode-se, assim, contabilizar uma recuperação, após o cultivo do milho, de 46 e 49kg de N/ha (77 e 82%) do total de N fornecido ao sistema solo-planta em estudo.

O total do N-fertilizante recuperado no sistema solo-planta não foi significativamente (teste F) afetado pelo método de aplicação da uréia. A recuperação do N-fertilizante foi, respectivamente, 49 (82%) e 46kg/ha (76%) para uréia aplicada na superfície e incorporada ao solo (Quadro 4).

Por ser a uréia um fertilizante com alto potencial de perda de N por volatilização de amônia, principalmente quando aplicada na superfície do solo, sua incorporação tem sido recomendada como alternativa para reduzir, ou mesmo eliminar, essas perdas. No presente trabalho, o fato de a recuperação do N-fertilizante pelo milho (*Zea mays* L.) não ter sido afetada pelo método de aplicação da uréia (Quadro 4), poderia ser explicado pelas condições de umidade do solo na época da aplicação do fertilizante e a ocorrência de precipitação e irrigação nos dias subsequentes. Naquela ocasião, o solo apresentava-se com a superfície seca e com um teor de umidade de 38% à profundidade de 10cm.

De acordo com Ferguson & Kissel (1986), se a uréia é aplicada sobre a superfície seca do solo, não é provável que ocorram perdas significativas de N por volatilização de NH_3 . Mesmo que a superfície do solo esteja inicialmente úmida ou que o conteúdo de água aumente à noite devido à baixa demanda evaporativa, as condições para volatilização de NH_3 podem ser limitadas se a superfície secar rapidamente durante o dia, a ponto de inibir a hidrólise da uréia.

Por outro lado, uma irrigação de 28mm, aplicada quatro dias após a adubação nitrogenada de cobertura, e precipitações de 52mm, que ocorreram no sexto e sétimo dias após, favoreceram a incorporação da uréia ou do N-amoniaco ao

solo, reduzindo as perdas por volatilização e aumentando a adsorção. Bouwmeester et al. (1985) verificaram que uma precipitação de 24mm foi suficiente para proteger o N-uréia das perdas por volatilização de NH_3 ; o mesmo não ocorreu com uma precipitação da ordem de 8mm. A quantidade de precipitação necessária para lixiviar a uréia a uma dada profundidade do solo, suficiente para eliminar as perdas por volatilização de NH_3 , é dependente de diversos fatores, podendo-se citar, entre eles, o conteúdo inicial de umidade do solo, capacidade-tampão e capacidade de troca de cátions (Ferguson & Kissel, 1986).

Os dados do balanço do nitrogênio apresentados (Quadro 4) mostram que, após a correção do erro, em média 12,4 e 18,4% do N-fertilizante foram perdidos do sistema, respectivamente, para a uréia aplicada na superfície e incorporada ao solo. Desse total, não recuperado no sistema solo-planta, encontrou-se neste experimento que apenas 4,0% (2,0kg de N/ha) do N-fertilizante aplicado foi perdido por lixiviação no perfil do solo, abaixo da camada de 90cm, considerada como seção de controle. Outros experimentos realizados no Brasil, utilizando-se da técnica do ^{15}N e revisados por Reichardt et al. (1982), mostraram que, com o uso de doses de até 100kg de N/ha, as perdas de N por lixiviação não constituíram o principal mecanismo a afetar o aproveitamento do N-fertilizante pelas culturas.

Assim, a idéia generalizada de que em condições tropicais, em que geralmente se associam altas precipitações e solos com elevada permeabilidade, a recuperação dos fertilizantes nitrogenados pelas culturas é baixa, devido ao alto potencial de perdas, principalmente por lixiviação, não se aplica a todas as condições de solos, clima e culturas.

CONCLUSÕES

1. O método de aplicação da uréia, na superfície e incorporada ao solo (7,5cm), não afetou a recuperação do fertilizante nitrogenado pelo milho.

Quadro 4. Balanço do nitrogênio proveniente da uréia (60kg N/ha), no sistema solo-planta da cultura do milho em latossolo vermelho-escuro sob vegetação de cerrado. Sete Lagoas, 1987

Destino do N-fertilizante	Modo de aplicação				Média	
	Uréia na superfície		Uréia incorporada a 7,5cm			
	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%
Removido nos grãos	26,30	43,83	24,00	39,82	25,15	44,33
Removido no sabugo	1,53	2,54	1,44	2,40	1,48	2,47
Removido na folha + palha	5,48	9,12	4,64	7,73	5,06	8,43
Removido no colmo + pendão	1,98	3,29	1,87	3,12	1,93	3,20
Total removido na planta	35,29	58,78	31,95	53,07	33,62	56,00
Retido no solo (0-90cm)	13,96	23,23	13,87	23,07	13,91	23,15
Total recuperado (planta + solo)	49,25	82,01	45,82	76,77	47,53	79,40
Perdas lixiviação	2,21	3,70	2,39	4,01	2,30	3,85
Estimativa do erro	3,23	5,60	3,23	5,60	3,23	5,60
Déficit	5,81	8,70	8,56	14,40	7,00	11,55

2. As porcentagens de N provenientes do fertilizante foram semelhantes nos grãos, folha + palha e colmo + pendão, em função da pequena variação na composição isotópica do N nestas partes da planta.

3. O balanço do N no sistema solo-planta indicou que, da dose de 60kg de N/ha aplicada na forma de uréia, 56% foram absorvidos pela planta (34kg de N/ha), 23% permaneceram no solo na camada de 0-90cm (14kg de N/ha) e 15% foram perdidos do sistema (9kg de N/ha). A perda por lixiviação correspondeu a 4% (2kg de N/ha) do total do N aplicado, sendo o restante atribuído a outros processos não determinados neste trabalho.

LITERATURA CITADA

- AQUINO, A.R.L. de. Níveis e modos de aplicação de uréia ^{15}N no arroz (*Oryza sativa* L.) submetido a veranicos. Piracicaba, ESALQ, 1984. 134p. (Tese de Doutorado)
- BARTHOLOMEW, W.V. El nitrogeno y la materia orgánica de los suelos. In: DROSDOFF, M. et al., eds. Suelos de las regiones tropicales húmedas. Buenos Aires, Ed. Marymar, 1975. p.85-107.
- BIGERIEGO, M.; HAUCK, R.D. & OLSON, R.A. Uptake, translocation and utilization of N-depleted fertilizer in irrigated corn. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 43:528-533, 1979.
- BOUWMEESTER, R.J.B.; VLEK, P.L.G. & STUMPE, J.M. Effect of environmental factors on ammonia volatilization from a urea-fertilized soil. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 49:376-381, 1985.
- BURESH, R.J.; AUSTIN, E.R. & CRASWELL, E.T. Analytical methods in ^{15}N research. Fert. Res., The Hague, 3:37-62, 1982.
- CAMPBELL, C.A. & PAUL, E.A. Effects of fertilizer N and soil moisture on mineralization, N recovery and A-values, under spring wheat grown in small lysimeters. Can J. Soil Sci., Ottawa, 58:39-51, 1978.
- COELHO, A.M. Balanço de nitrogênio (^{15}N) na cultura do milho (*Zea mays* L.) em um Latossolo Vermelho-Escuro fase cerrado. Lavras, ESALQ, 1987. 142p. (Tese de Mestrado)
- DALAL, R.C. The use of urea and sulfur-coated urea for corn production in a tropical soil. Proc. Soil Sci. Soc. Am., Madison, 39:1004-1005, 1975.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. Relatório Técnico Anual 1978-1979, Planaltina, DF, 1980. 121p.
- FERGUSON, R.B. & KISSEL, D.E. Effects of soil drying on ammonia volatilization from surface applied urea. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 50:485-490, 1986.
- FILIPOVIC, R. Fertilizer nitrogen residues: useful conservation and pollutant potential under maize. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Soil nitrogen as fertilizer or pollutant. Vienna, Austria, IAEA, 1980. p.47-60.
- FOX, R.H.; TALLEYRAND, H. & BOULDIN, D.R. Nitrogen fertilization of corn and sorghum in Oxisols and Ultisols in Puerto Rico. Agron. J., Madison, 66:534-540, 1974.
- GAMBOA, J.; PERES, G. & BLASCO, M. Un modelo para describir los procesos de retención y lixiviación en los suelos. Turrialba, San José, Costa Rica, 21:312-316, 1971.
- GROVE, L.T.; RITCHEY, K.D. & NADERMAN JR., G.C. Nitrogen fertilization of maize on oxisol of the cerrado of Brazil. Agron. J., Madison, 27:261-265, 1980.
- HAUCK, R.D. Nitrogen-isotope-ratio analysis. In: STEVENSON, F.J., ed. Methods of soil analysis; chemical and microbiological properties. Madison, American Society of Agronomy, 1982. p.735-779.
- HAUCK, R.D. & BREMNER, J.M. Use of tracers for soil and fertilizer nitrogen research. Adv. Agron., New York, 28:219-266, 1976.
- KITUR, B.K.; SMITH, M.S.; BLEVINS, R.L. & FRYE, W.W. Fate of ^{15}N depleted ammonium nitrate applied to no-tillage and conventional tillage corn. Agron. J., Madison, 76:240-242, 1984.
- LEGG, J.O. & MEISINGER, J.J. Soil nitrogen budget. In: STEVENSON, F.J., ed. Nitrogen in agricultural soils. Madison, American Society of Agronomy, 1982. p.503-557.
- LIBARDI, P.L.; MORAES, S.O.; COSTA, A.C.S. da.; VICTORIA, L.R.; URQUIAGA, S.C. & REICHARDT, K. The fate of fertilizer nitrogen in a tropical cropping system. Final Report, 1983. 39p. (Mimeografado)
- LIBARDI, P.L. & REICHARDT, K. Destino da uréia aplicada a um solo tropical. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 2:40-44, 1978.
- MEIRELLES, N.M.F.; LIBARDI, P.L. & REICHARDT, K. Absorção e lixiviação de nitrogênio em cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). R. bras. Ci. Solo, Campinas, 4:83-88, 1980.
- MORAGHAN, J.T.; REGO, T.J. & BURESH, R.J. Labeled nitrogen fertilizer research with urea in the semi-arid tropics. III. Field studies on alfisol. Pl. Soil, The Hague, 82:193-203, 1984.
- OLSON, R.A. Fate of tagged nitrogen fertilizer applied to irrigated corn. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 44:514-517, 1980.
- PERES, J.R.R. & SUHET, A.R. Adubação nitrogenada no planalto central. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 16, Ilhéus, 1984. Anais. Ilhéus, CEPLAC/SBCS, 1985. p.220-242.
- REICHARDT, K.; LIBARDI, P.L. & URQUIAGA, S.C. Fate of fertilizer nitrogen in soil-plant systems with emphasis on the tropics. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Agro-chemicals: fate in food and the environment. Vienna, Austria, IAEA, 1982. p.277-290.
- URQUIAGA, S.C. Dinâmica do nitrogênio no sistema solo-planta na cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivar carioca. Piracicaba, ESALQ, 1982. 118p. (Tese de Doutorado)