

# ACÚMULO DE NITROGÊNIO ( $^{15}\text{N}$ ) PELOS GRÃOS DE MILHO EM FUNÇÃO DA FONTE NITROGENADA EM LATOSSOLO VERMELHO <sup>(1)</sup>

ROBSON RUI COTRIM DUETE <sup>(2)</sup>; TAKASHI MURAOKA <sup>(3\*)</sup>; EDSON CABRAL DA SILVA <sup>(4)</sup>; EDMILSON JOSÉ AMBROSANO <sup>(5)</sup>; PAULO CÉSAR OCHEUZE TRIVELIN <sup>(3)</sup>

## RESUMO

O nitrogênio é o nutriente mineral extraído em maior quantidade pelo milho, o que mais influencia a produtividade de grãos e o único absorvido como cátion ( $\text{NH}_4^+$ ) ou anion ( $\text{NO}_3^-$ ). Os objetivos deste trabalho foram investigar o acúmulo pelos grãos de milho do nitrogênio aplicado ao solo sob as formas amoniacal e nítrica, do nitrato de amônio, comparado à amídica, da uréia, marcados com  $^{15}\text{N}$ ; determinar o estágio de desenvolvimento da planta de milho em que se atinge o máximo aproveitamento do N do fertilizante pelos grãos e; quantificar o N do solo exportado pelos grãos de milho. O estudo foi desenvolvido no Polo Regional do Desenvolvimento dos Agronegócios do Noroeste Paulista (APTA), em Votuporanga (SP), em um Latossolo Vermelho. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com 13 tratamentos e quatro repetições, dispostos em esquema fatorial  $6 \times 2 + 1$  (testemunha, sem aplicação de N). Utilizou-se uma dose equivalente a  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de nitrogênio, compreendida pelas fontes uréia- $^{15}\text{N}$  e nitrato de amônio, com enriquecimento no cátion  $\text{NH}_4^+$  ( $^{15}\text{NH}_4^+\text{NO}_3^-$ ) ou no anion  $\text{NO}_3^-$  ( $\text{NH}_4^+^{15}\text{NO}_3^-$ ), aplicado em seis parcelamentos de  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, em microparcelas distintas, desde a semeadura até o estágio fenológico 7 (grãos pastosos). O nitrogênio aplicado sob a forma amoniacal ou nítrica foi acumulado equitativamente pelo milho. O milho acumulou mais nitrogênio da uréia do que do nitrato de amônio. O N aplicado ao milho no estágio de oito folhas expandidas promoveu maior acúmulo deste nutriente nos grãos.

**Palavras-chave:** uréia, nitrato de amônio, nitrogênio do solo, diluição isotópica.

## ABSTRACT

### NITROGEN ( $^{15}\text{N}$ ) ACCUMULATION IN CORN GRAINS AS AFFECTED BY SOURCE OF NITROGEN IN RED LATOSOL

Nitrogen is the most absorbed mineral nutrient by corn crop and most affects grains yield. It is the unique nutrient absorbed by plants as cation ( $\text{NH}_4^+$ ) or anion ( $\text{NO}_3^-$ ). The objectives of this work were to investigate the N accumulation by corn grains applied to the soil as  $\text{NH}_4^+$  or  $\text{NO}_3^-$  in the ammonium nitrate form compared to amidic form of the urea, labeled with  $^{15}\text{N}$ ; to determine the corn growth stage with highest fertilizer N utilization by the grains, and to quantify soil nitrogen exported by corn grains. The study was carried out in the Experimental Station of the Regional Pole of the Sao Paulo Northwestern Agribusiness Development (APTA), in Votuporanga, State of Sao Paulo, Brazil, in a Red Latosol. The experimental design was completely randomized blocks, with 13 treatments and four replications, disposed in factorial outline  $6 \times 2 + 1$  (control, without N application). A nitrogen rate equivalent to  $120 \text{ kg N ha}^{-1}$  as urea- $^{15}\text{N}$  or as ammonium nitrate, labeled in the cation  $\text{NH}_4^+$  ( $^{15}\text{NH}_4^+\text{NO}_3^-$ ) or in the anion  $\text{NO}_3^-$  ( $\text{NH}_4^+^{15}\text{NO}_3^-$ ), was applied in six fractions of  $20 \text{ kg N ha}^{-1}$  each, in different microplots, from seeding to the growth stage 7 (pasty grains). The forms of nitrogen,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  and  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ , were accumulated equitably by corn grains. The corn grains accumulated more N from urea than from ammonium nitrate. The N applied to corn crop at eight expanded leaves stage promoted largest accumulation of this nutrient in the grains.

**Key words:** urea, ammonium nitrate, soil nitrogen, isotopic dilution.

<sup>(1)</sup> Extraído da Tese de Doutorado de primeiro autor apresentada ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP). Recebido para publicação em setembro de 2007 e aceito em 6 de janeiro de 2009.

<sup>(2)</sup> Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola S.A. - EBDA. Praça Gerard Suerdieck, s/n, 44380-000 Cruz das Almas (BA). E-mail: rrcduete@oi.com.br

<sup>(3)</sup> Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP). Av. Centenário, 303, Bairro São Dimas, 13416-970 Piracicaba (SP). E-mails: muraoka@cena.usp.br (\*) Autor correspondente; pcotrive@cena.usp.br

<sup>(4)</sup> Pós-doutorando do CENA/USP. Bolsista da FAPESP. E-mail: ecsilva@cena.usp.br

<sup>(5)</sup> Polo Centro-Sul/DDD, Piracicaba, Caixa Postal 28, 13400-970 Piracicaba (SP). E-mail: ambrosano@aptaregional.sp.gov.br

## 1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a cultura do milho passou por importantes avanços nos diversos campos da ciência agrônômica, com destaque para o melhoramento genético, com a obtenção de híbridos mais produtivos e possibilidade de aumento na densidade de semeadura, e para o manejo adequado de corretivos e fertilizantes, principalmente dos nitrogenados. O N é elemento absorvido e exportado em maior quantidade pelo milho, o de maior dificuldade para avaliar sua disponibilidade no solo e o de manejo mais complexo, decorrente das múltiplas reações a que está sujeito, mediadas por microrganismos e afetadas por fatores climáticos de difícil previsão (CANTARELLA e DUARTE, 2004; SOUSA e LOBATO, 2004).

O N pode ser encontrado na solução do solo principalmente nas formas de nitrato e amônio; porém, na maioria dos solos cultivados, em particular nos da região tropical, o nitrato é a principal forma de aquisição de N pelas plantas (MARSCHNER, 1995). O milho absorve tanto a forma nítrica como a amoniacal, embora a idade da planta tenha influência na escolha da forma nitrogenada. O íon amônio é utilizado, preferencialmente, nos primeiros estádios e o íon nitrato nos estádios finais (WARNCKE e BARBER, 1973). No entanto, existe muita discordância na literatura quanto à forma preferencial de absorção do N pelo milho (MAGALHÃES, 1996), já que a maioria dos trabalhos foi desenvolvida em casa de vegetação com as plantas cultivadas em solução nutritiva.

Em plantas de milho supridas com mistura de  $N-NO_3^-$  e  $N-NH_4^+$ , observaram-se maior crescimento, nos estudos de XU et al. (1992) e de STROMBERGER et al. (1994), e maiores rendimentos de grãos e de biomassa do que aquelas supridas exclusivamente ou predominantemente com nitrato (WARNCKE e BARBER, 1973). XU et al. (1992) constataram que a proporção de  $N-NH_4^+$  na mistura requerida para máximo crescimento varia de acordo com a quantidade total de N no meio; sob baixa disponibilidade de N, plântulas cresceram melhor com alta proporção de N na forma amoniacal, enquanto uma grande proporção de  $N-NO_3^-$  foi vantajosa em condições de alto N.

Do ponto de vista fisiológico, as plantas são responsivas à nutrição nítrica diferentemente da amoniacal. Segundo XU et al. (1982), embora o  $N-NH_4^+$  seja metabolicamente mais eficiente do que  $N-NO_3^-$ , uma alta concentração de  $N-NH_4^+$ , durante o estágio de plântulas, pode forçar a assimilação nitrogenada e criar um "estresse carbônico", por falta de C em relação aos íons  $N-NH_4^+$  prontos para serem

assimilados para outros processos metabólicos. Portanto, a presença de uma mistura de  $N-NO_3^-$  e  $N-NH_4^+$  geralmente melhora o crescimento quando comparado a plantas nutridas exclusivamente com uma única forma de N. MAGALHÃES et al. (1995) e SCHORTEMAYER e FEIL (1996) observaram efeitos depressivos do N na forma amoniacal sobre o crescimento e a produção de matéria seca do milho.

REDDY e REDDY (1993), em condições de campo em Alfisol, verificaram que as formas de N amoniacal ou nítrica não influenciaram o rendimento de grãos nem o acúmulo de N na planta de milho. Os autores verificaram também que, no fim do ciclo da cultura, o aproveitamento do N do fertilizante  $N-^{15}NH_4^+$  e  $N-^{15}NO_3^-$  compreendeu a faixa de 43 a 56% e 44 a 57%, respectivamente. YIN e RAVEN (1998), em cultivo hidropônico, observaram que a eficiência de utilização do N pelo milho foi influenciada pelas formas de N aplicadas na seguinte ordem decrescente:  $N-NO_3^- > ^{15}NH_4^+ > ^{15}NO_3^- > N-NH_4^+$ . GROVE et al. (1980) constataram maior produção e aproveitamento do N da uréia em relação ao N do nitrato de amônio para o milho cultivado em Latossolo Vermelho de Cerrado.

A imobilização do  $N-NH_4^+$ , normalmente, é maior do que a do  $N-NO_3^-$ , o que pode proporcionar diferenças no aproveitamento do N pelo milho (CROZIER et al., 1998). Por outro lado, o  $N-NO_3^-$  por ser repelido pelas partículas do solo – geralmente com carga elétrica líquida negativa – permanece livre na solução. Em conseqüência, a quantidade presente na camada arável do solo, que não é aproveitada pelas plantas, fica sujeita à lixiviação. COELHO et al. (1991) observaram perdas por lixiviação de apenas 4% do N aplicado com uréia ( $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de N) na cultura do milho em Latossolo Vermelho-Escuro; com base nesse e em outros resultados da literatura, esse autores sugerem que as perdas por lixiviação, não constituem de forma generalizada, o principal fator que afeta o aproveitamento do N de fertilizantes pelo milho.

O estágio de desenvolvimento da cultura do milho exerce grande influência no aproveitamento do N do fertilizante pelo milho (MENGEL e BARBER, 1974; VARVEL et al.; 1997). Estudos revelam respostas diferenciadas quanto à época de aplicação (LARA CABEZAS et al., 2005; SILVA et al., 2006) e fonte de N (LARA CABEZAS et al., 1997; COELHO et al., 1992; LARA CABEZAS et al., 2005). Nesse contexto, estabeleceu-se a hipótese de que as formas de N do nitrato de amônio influenciam o aproveitamento deste nutriente pelo milho e que a fonte de N (uréia ou nitrato de amônio) influencia seu aproveitamento e a absorção de N do solo ao longo do ciclo do milho.

Os objetivos deste trabalho foram de investigar o acúmulo pelos grãos de milho do nitrogênio aplicado ao solo sob as formas amoniacal e nítrica, do nitrato de amônio, comparado à amídica, da uréia, marcados com  $^{15}\text{N}$ ; determinar o estágio de desenvolvimento da planta de milho em que se atinge o máximo aproveitamento do N do fertilizante pelos grãos e; quantificar o N do solo exportado pelos grãos de milho.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em condições de campo, na Estação Experimental do Pólo Regional do Desenvolvimento Tecnológico dos Agronegócios do Noroeste Paulista, da Agência de Paulista de Tecnologia (APTA), localizada no município de Votuporanga (SP), no ano agrícola de 1998/1999. As coordenadas geográficas locais são  $50^{\circ} 04' \text{ W}$  e  $20^{\circ} 28' \text{ S}$  com 490 m de altitude. Segundo a classificação de Köeppen, o clima da região é do tipo Aw, definido como tropical úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno, e temperatura média anual de  $22,2^{\circ}\text{C}$ , precipitação pluvial média anual de 1.239 mm.

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho eutrófico (LVe), A moderado, textura média, fase cerrado, relevo suave ondulado (EMBRAPA, 1999). Antes da instalação do ensaio foi realizada amostragem do solo, nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, para caracterização química, sendo encontrados, respectivamente: pH ( $\text{CaCl}_2$ ) 5,9 e 4,6; N total 0,38 e  $0,39 \text{ g kg}^{-1}$ ; M.O. 10 e  $9 \text{ g dm}^{-3}$ ; P (resina) 23 e  $13 \text{ mg dm}^{-3}$ ; Ca 21 e  $13 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ; Mg 8 e  $6 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ; K 2,0 e  $1,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ; H+Al 15 e  $28 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ; SB 31,0 e  $20,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ; CTC 46,0 e  $48,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e V 67 e 42%; B (água quente) 0,13 e  $0,26 \text{ mg dm}^{-3}$ ; Cu (DTPA) 0,40 e  $0,80 \text{ mg dm}^{-3}$ ; Fe (DTPA) 8,50 e  $17,00 \text{ mg dm}^{-3}$ ; Mn (DTPA) 8,80 e  $18,80 \text{ mg dm}^{-3}$  e Zn (DTPA) 0,70 e  $0,60 \text{ mg dm}^{-3}$ .

O preparo do solo foi efetuado com grade aradora pesada, subsolagem e duas gradagens leves para uniformizar o terreno e eliminar as ervas daninhas. A correção da acidez do solo foi realizada com a aplicação incorporada de  $2 \text{ Mg ha}^{-1}$  de calcário dolomítico (PRNT = 100%), segundo recomendação descrita em RAIJ et al. (1996).

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com 13 tratamentos e quatro repetições, dispostos em esquema fatorial  $6 \times 2 + 1$  (testemunha). Os tratamentos compreenderam duas fontes de N (uréia e nitrato de amônio), seis épocas de aplicação do N ao longo do ciclo do milho e um tratamento sem aplicação de N.

Utilizou-se uma dose equivalente a  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de nitrogênio aplicado como  $^{15}\text{N}$ -uréia e nitrato de amônio- $^{15}\text{N}$ , enriquecidos no íon  $\text{NH}_4^+$  ou  $\text{NO}_3^-$  ( $^{15}\text{NH}_4^+\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+^{15}\text{NO}_3^-$ ), em 5% de átomos em excesso de  $^{15}\text{N}$ , aplicada em seis parcelamentos de  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, a cada 20 dias, desde a semeadura do milho até os 100 dias após (d.a.s.). Os parcelamentos compreenderam os estádios fenológicos da cultura: estágio 0, semeadura; estágio 1, planta com quatro folhas totalmente expandidas ou desdobradas; estágio 2, planta com oito folhas expandidas; estágio 3, planta com doze folhas expandidas; estágio 5, florescimento e polinização e estágio 7, grãos pastosos.

As parcelas experimentais constaram de uma área de  $31,5 \text{ m}^2$  ( $4,5 \times 7,0 \text{ m}$ ), com cinco linhas de milho espaçadas de 0,90 m. Como área útil, foram consideradas as três linhas centrais, desprezando-se 1,0 m em cada extremidade, perfazendo uma área de  $13,5 \text{ m}^2$ . Os tratamentos que receberam uréia- $^{15}\text{N}$  ou nitrato de amônio- $^{15}\text{N}$ , tiveram microparcels separadas, de  $1,0 \times 0,9 \text{ m}$ , dentro das respectivas parcelas, para cada parcelamento da dose de N, com a finalidade de distinguir o aproveitamento do N aplicados nos diferentes estádios de desenvolvimento do milho. No restante da parcela foi aplicada a uréia e o nitrato de amônio comercial, contendo, respectivamente, 45% e 33% de N.

As semeaduras do milho foram realizadas manualmente em 5/11/1998, utilizando-se o híbrido triplo Braskalb XL 360, de ciclo precoce, distribuindo-se 10 sementes por metro linear de sulco, com posterior desbaste, deixando-se uma plântula a cada 0,20 m, visando a um estande de 55.556 plantas por hectare. A adubação de semeadura constou de  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $50 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ , respectivamente, na forma se superfosfato simples e cloreto de potássio, aplicada no sulco abaixo e ao lado das sementes.

Nas adubações nitrogenadas de cobertura, os fertilizantes foram distribuídos manualmente em filete a 0,15 m das plantas, sobre a superfície do solo. Por ocasião da segunda adubação nitrogenada de cobertura (estádio 2 – plantas com oito folhas expandidas), aplicaram-se  $50 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ , tendo como fonte o cloreto de potássio, conforme recomendação descrita em RAIJ et al. (1996).

A colheita de todos os tratamentos foi realizada em 25/3/1999 (140 d.a.s.), após a maturação fisiológica dos grãos. As espigas foram debulhadas manualmente e os dados transformados em  $\text{kg ha}^{-1}$  de grãos, padronizados a 13% de umidade.

Dentro de cada microparcela foram colhidas, separadamente, as espigas das três plantas centrais de uma linha, compreendendo a linha mais próxima à aplicação do fertilizante marcado, para a determinação da abundância isotópica de  $^{15}\text{N}$ , apenas nos grãos. As análises de  $^{15}\text{N}$  foram realizadas em espectrômetro de massa (IRMS), interfaceado com um analisador elementar de N no Laboratório de Isótopos Estáveis do CENA/USP, conforme método descrito em BARRIE e PROSSER (1996). A determinação da eficiência de utilização do N do fertilizante baseou-se no princípio da diluição isotópica, utilizando-se a seguinte seqüência de cálculos:

a) Quantidade de nitrogênio acumulado nos grãos de milho (NA)

$$NA = \frac{N \times PG}{1000} \quad (1)$$

Em que: NA = Nitrogênio acumulado ( $\text{kg ha}^{-1}$ ); N = Concentração de nitrogênio nos grãos ( $\text{g kg}^{-1}$ ); PG = Produtividade de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).

b) Percentagem de nitrogênio nos grãos de milho proveniente do fertilizante (%NGMPF)

$$\%NGMPF = \frac{\% \text{ Átomos de } ^{15}\text{N} \text{ em excesso nos grãos de milho}}{\% \text{ Átomos de } ^{15}\text{N} \text{ em excesso no fertilizante}} \times 100 \quad (2)$$

c) Quantidade de nitrogênio nos grãos milho proveniente fertilizante (QNGMPF,  $\text{kg ha}^{-1}$ ).

$$QNGMPF = \frac{\%NGMPF \times NA}{100} \quad (3)$$

d) Aproveitamento (%AP) do nitrogênio do fertilizante pelos grãos de milho

$$\%AP = \frac{QNGMPF}{QNA} \times 100 \quad (4)$$

Em que: QNA = quantidade de nitrogênio aplicado ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).

A quantidade de N nos grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) proveniente do N do solo foi calculada mediante a diferença entre a quantidade total de N acumulado nos grãos pela quantidade de N nos grãos proveniente do fertilizante, utilizando-se a equação:

$$QNGPNS = NA - QNGMPF \quad (5)$$

Em que: NA = Quantidade de nitrogênio acumulado nos grãos do milho ( $\text{kg ha}^{-1}$ ); QNGMPF = quantidade de N nos grãos de milho proveniente do fertilizante ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), considerando-se o total dos seis parcelamentos da dose de N.

Os dados foram submetidos à análise de variância, aplicando-se o teste F, contrastes ortogonais e análise de regressão para as avaliações em que a interação foi significativa (formas de N x

parcelamento). As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa estatístico "SAS System for Windows-release 6.11" (SAS, 1996).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o ciclo da cultura do milho não houve a incidência de períodos prolongados de estiagem (veranicos), passíveis de ocorrência na região, que limitassem o desenvolvimento da cultura, influenciando a produtividade de grãos. A maior concentração de chuvas, medidas no posto meteorológico localizado a aproximadamente 1.200 m da área experimental, ocorreu no período compreendido entre o estágio 3, planta com doze folhas expandidas e o estágio 5, florescimento e polinização do milho (Figura 1).

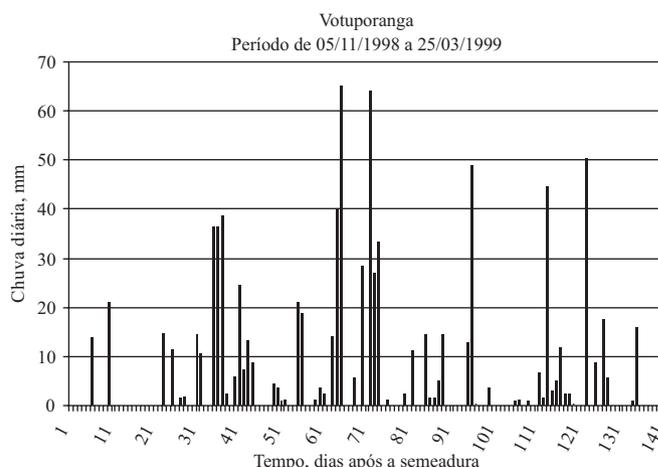


Figura 1. Precipitação pluvial ocorrida durante o período do experimento, período de 5/11/1998 a 25/3/1999 (CIIAGRO, 2008).

Na análise de variância não se observou efeito significativo, pelo teste F, em função de a aplicação de uréia ou nitrato de amônio sobre a produtividade de grãos de milho, que foi, respectivamente, de 7.957, 7.355  $\text{kg ha}^{-1}$ , demonstrando que estas fontes de N foram indiferentes estatisticamente quanto ao acúmulo de massa seca nos grãos. No entanto, ambas as fontes influenciaram o acúmulo de massa seca nos grãos, proporcionando produtividade significativamente superior à do tratamento sem a aplicação de N (5.528  $\text{kg ha}^{-1}$ ). Resultados semelhantes, sem diferença estatística, quando a uréia ou nitrato de amônio foram aplicados superficialmente, foram também obtidos por MENGEL et al. (1982). Igualmente, ZHANG et al. (1993) também verificaram que o nitrato de amônio, a uréia e o nitrato de amônio cálcico não afetaram o rendimento de grãos

do milho. Semelhantemente, REDDY e REDDY (1993) e CROZIER et al. (1998) também verificaram que as formas  $N-NH_4^+$  e  $N-NO_3^-$  não influenciaram o rendimento de grãos de milho. LARA CABEZAS et al. (1997), em condições de campo, em Latossolo Vermelho-Escuro, também verificaram que as fontes nitrato de amônio, uréia e sulfato de amônio não influenciaram a produtividade de grãos, embora a perda de  $N-NH_3$  por volatilização tenha sido maior para a uréia.

Pela comparação entre fontes e formas de N, utilizando a técnica dos contrastes (Tabela 1), observa-se que o contraste  $Y1 = 2$  (uréia) - 1 (\*NA) - 1 (NA\*) (uréia versus demais) foi significativo quanto à porcentagem de nitrogênio nos grãos de milho proveniente do fertilizante (%NGMPF), quantidade de nitrogênio nos grãos de milho proveniente do fertilizante (QNGMPF) e aproveitamento do N do fertilizante (AP) para maioria das épocas de aplicação.

**Tabela 1.** Significância dos contrastes para as avaliações porcentagem de N nos grãos de milho proveniente do fertilizante (%NGMPF), quantidade de N nos grãos de milho proveniente do fertilizante (QNGMPF) e aproveitamento do N do fertilizante pelos grãos de milho (%AP), em função de diferentes fontes e formas de N aplicadas em diferentes fases de desenvolvimento do milho

Contraste	Estádios fenológicos da cultura do milho (Quadrados Médio)					
	0	1	2	3	5	7
	Semeadura	Quatro folhas	Oito folhas	Doze folhas	Flor/polinização	Grãos pastosos
	— % NGMPF —					
Y1 <sup>a</sup>	0,123*	0,367**	0,444**	0,002ns	0,386**	0,003ns
	— QNGMPF —					
Y1	0,134**	0,327**	0,384**	0,002ns	0,330**	0,001ns
	— %AP —					
Y1	3,125*	5,902**	3,572*	0,590ns	3,198*	0,054ns

Ns: Não significativo; \* e \*\*: Significativo a 5% e a 1% pelo teste F respectivamente. <sup>a</sup>Y1 = 2 (uréia) - 1 (\*NA) - 1 (NA\*). Obs.: Y2 = 1 (\*NA) - 1 (NA\*) - não significativo.

A ausência de significância estatística para o contraste Y2 ( $^{15}NH_4^+NO_3^-$  versus  $NH_4^{+15}NO_3^-$ ) quanto às variáveis relacionadas com o N total, permite afirmar que neste estudo as plantas de milho utilizaram o N-nítrico equitativamente ao N-amoniaco. Resultados semelhantes aos deste estudo sem diferenças significativas entre as mesmas fontes de N, quanto ao conteúdo de N nos grãos, também foram observadas por MENGEL et al. (1982), VILLAS BÓAS (1990) e ZHANG et al. (1993). A exemplo deste estudo, REDDY e REDDY (1993) e CRUZIER et al. (1998) também não verificaram diferenças significativas com respeito à acumulação de N nos grãos de milho, quando compararam  $^{15}NH_4^+NO_3^-$  e  $NH_4^{+15}NO_3^-$ .

Verifica-se que para todas as avaliações constantes na tabela 1, o contraste Y1 (uréia versus demais) foi não significativo apenas para as épocas estágio 3 (planta com doze folhas expandidas); estágio 7 (grãos pastosos). Com relação ao estágio 3, provavelmente esteve relacionada a possíveis perdas de N, visto que houve uma redução drástica no valor da %NGMPF (Figura 2A). Tais perdas, provavelmente ocorreram, sobretudo por lixiviação e desnitrificação,

já que como demonstrado na figura 1, o regime mais intenso de chuvas ocorreu no período compreendido entre 60 e 80 d.a.s. Quanto à não-significância no estágio fenológico 7, quando a %NGMPF foram menores ainda do que com a aplicação aos estágio fenológico 3 (Figura 2A), possivelmente, em decorrência de as plantas estarem em avançado estágio de formação dos grãos; assim, com insignificantes taxas de absorção de N e de translocação deste nutriente para os grãos, embora possam ter ocorrido perdas, a exemplo das citadas anteriormente para o estágio fenológico 3, e também perda pela parte aérea, na forma de  $NH_3$ , junto à corrente transpiratória, sobretudo após a antese, devido à senescência foliar (HARPER e SHARPE, 1995).

Esses resultados estão de acordo com CALVACHE (1981), que observaram crescimento da %NGMPF a partir dos 45 d.a.s. até aos 90 d.a.s., com acentuado decréscimo em seguida. JUNG et al. (1972) observaram em amostras coletadas na 11.<sup>a</sup> semana após à semeadura, severa redução da atividade da reductase do nitrato (NR), nos tratamentos aos quais o N foi aplicado na 10.<sup>a</sup> semana após à semeadura.

Esse fato admitiu aos autores sugerirem que aplicações tardias de N não permitiram tempo suficiente para bastante proteína ser acumulada no tecido antes de iniciar a formação do grão. MENGEL e BARBER (1974) e VARVEL et al. (1997) relataram tais resultados, demonstrando que a absorção tardia de N não proporciona o mesmo efeito que o N absorvido em um estágio mais inicial da cultura do milho.

Já para a comparação entre as formas de N do nitrato de amônio (amoniacal e nítrica)  $Y_2 = 1 (*NA) - 1 (NA^*)$ , Tabela 1, a análise não revelou efeito significativo para nenhuma das variáveis avaliadas, indicando indiferença entre as formas nítrica e amoniacal aplicadas ao solo sobre a absorção e o aproveitamento de N pelo milho.

A similaridade de absorção do N aplicado sob a forma amoniacal ou nítrica ocorrida neste estudo pode ser atribuída a diversos fatores, tais como: I) o pH do solo estava com valores adequados para a cultura do milho, em vista de o pH do substrato de crescimento ser um dos fatores que afetam em maior extensão a resposta da planta a formas de N. MAGALHÃES et al. (1995) verificaram que híbridos de milho cresceram muito menos em presença de  $NH_4^+$  não tamponado do que quando supridas exclusivamente com  $NO_3^-$ ; no entanto, tiveram comparáveis crescimentos sob a nutrição de ambas as formas quando o pH foi controlado. II) A rápida nitrificação do amônio aplicado nesse sistema, conduzindo o nitrogênio ao mesmo destino nítrico, independentemente da forma de N aplicada (CROZIER et al., 1998), isto é, o amônio pode ter sido convertido a nitrato, daí os comportamentos semelhantes.

Esse fato constitui-se em uma das muitas razões pela qual tem sido difícil a determinação da forma preferencial de absorção de N para o crescimento das plantas, em condições de campo. III) As quantidades relativas equivalentes de cada forma, pois segundo ENGELS e MARSCHNER (1995) os íons  $NH_4^+$  e  $NO_3^-$  absorvidos pela planta, dependem das quantidades relativas de cada uma das formas no solo, da acessibilidade pelas raízes às mesmas e da preferência da planta ou genótipo. De acordo com ENGELS e MARSCHNER (1995) a forma de N suprida não afeta somente o pH na rizosfera, mas também os custos da homeostase do pH. Portanto, para a soma dos efeitos indicados acima, uma relação de assimilação de  $1NH_4^+$  para  $2NO_3^-$  poderia ocorrer uma reação de neutralização do  $H^+$  e, portanto, minimizar os custos da homeostase do pH. Isso pode explicar, em parte, porque muitas espécies de plantas desenvolvem otimamente sob mistura das formas de N, a exemplo do observado por MAGALHÃES et al. (1995) para o milho.

Considerando a média dos seis parcelamentos da dose de N, o aproveitamento do N da uréia pelos grãos foi de 37,83% ( $45,39 \text{ kg ha}^{-1}$  de N), (Tabela 2). Para o N do nitrato de amônio, o aproveitamento foi de 26,78% ( $32,27 \text{ kg ha}^{-1}$  de N), menor do que o da uréia. Para uréia, o aproveitamento obtido neste estudo foi superior aos de 19% a 24% constatados por CALVACHE (1981) em Terra Roxa Estruturada, e próximo ao valor de aproveitamento de 40% verificado por COELHO et al. (1991). Estas diferenças, possivelmente, estão relacionadas às distintas características dos solos e também de outros fatores como, por exemplo, as condições climáticas e/ou, que influenciam na atividade da microbiota do solo, mediadora dos processos de transformação do N, perdas (volatilização, lixiviação, desnitrificação e imobilização) e também a dinâmica e absorção do N pela planta. Ressalta-se que, neste estudo, o N foi aplicado a 0,15 m da linha da cultura, podendo ter ocorrido absorção de parte do nutriente pelas plantas das linhas laterais; no entanto, foi coletada apenas espigas da linha mais próxima à aplicação do fertilizante marcado, por conseguinte, os resultados de recuperação do N (relativos e absolutos) pelos grãos de milho, possivelmente estão subestimados, já que estudos demonstram grande dinâmica do N no solo, favorecendo sua absorção pelas plantas presentes em linhas adjacentes à que recebeu a aplicação (COELHO et al. 1991; VILLAS BÓAS et al., 1990; LARA CABEZAS et al., 2000).

Os teores de N total nos grãos (Tabela 2) não foram de grande variação em função das distintas fontes de N, ficando os valores entre  $13,72$  e  $17,53 \text{ g kg}^{-1}$ . No geral, na maioria dos tratamentos, os teores ficaram próximos aos dos descritos como adequados ( $17 \text{ g kg}^{-1}$ ) por RAIJ et al. (1996). Valores parecidos ao do presente estudo foram também verificados por SILVA et al. (2006). Verifica-se que na maioria dos tratamentos, a quantidade de N acumulada (NA), ou seja, a quantidade exportada nos grãos pela colheita foi superior a  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, valores estes, próximos aos da dose de N aplicada ( $120 \text{ kg ha}^{-1}$ ).

Pela quantidade de N do solo nos grãos de milho (QNGMPS) não houve diferenças estatísticas significativas (Tabela 2). Tal fato sugere que as fontes nitrogenadas exerceram influência similar sobre a mineralização do N orgânico do solo e sobre a absorção do N que foi mineralizado, visto que nesses processos, geralmente, há influência de diversos fatores, sendo um dos principais o pH do solo, em que, por sua vez, é influenciado pela fonte nitrogenada.

**Tabela 2.** Teor de N total nos grãos de milho, quantidade de N acumulada nos grãos (NA), quantidade de N nos grãos proveniente do fertilizante (QNGMPF), aproveitamento do N do fertilizante pelos grãos de milho (AP) e quantidade de N do solo nos grãos de milho (QNGMPS), em função de diferentes fontes e formas de N aplicadas em diferentes estádios de desenvolvimento do milho

Fonte de forma de nitrogênio	Estádios fenológicos da cultura do milho					
	0	1	2	3	5	7
	Semeadura	Quatro folhas	Oito folhas	Doze folhas	Flor/polinização	Grãos pastosos
Teor de N, g kg <sup>-1</sup>						
Uréia	15,05	15,39	15,23	14,65	14,68	14,84
<sup>15</sup> NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	13,72	17,53	15,94	15,24	15,59	16,65
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> <sup>15</sup> NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	17,27	15,74	15,62	15,74	15,63	15,87
NA, kg ha <sup>-1</sup>						
Uréia	119,75	122,46	121,19	116,57	116,81	118,08
<sup>15</sup> NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	100,91	128,93	117,24	112,09	114,66	122,46
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> <sup>15</sup> NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	127,02	115,77	114,89	115,77	114,96	116,72
QNGMPF, kg ha <sup>-1</sup>						
Uréia	6,60	11,01	11,51	3,40	11,18	1,69
<sup>15</sup> NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1,41	2,96	4,78	2,81	3,06	1,25
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> <sup>15</sup> NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1,44	2,91	4,73	2,77	3,06	1,09
AP, %						
Uréia	33,01	55,07	57,56	17,01	55,90	8,45
<sup>15</sup> NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	14,07	29,60	47,76	28,08	30,64	12,53
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> <sup>15</sup> NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	14,44	29,07	47,28	27,67	30,56	10,90
QNGMPS, kg ha <sup>-1</sup>						
Uréia	74,35	77,06	75,80	71,17	71,40	72,68
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	81,70	90,09	83,80	81,70	82,55	87,33

O N do fertilizante, muitas vezes, favorece o desenvolvimento do sistema radicular, propiciando condições para maior aproveitamento do N e de outros nutrientes do solo (JENKINSON et al., 1985), e também à maior mineralização do N do solo (RAO et al., 1992; Scivittaro et al., 2000), efeito conhecido como "priming". Assim, SILVA et al. (2006), avaliando doses crescentes de N-uréia (0, 30, 80, 130 e 180 kg ha<sup>-1</sup>) no milho, verificaram que estas influenciam a quantidade de N do solo absorvido pelo milho. Neste estudo, utilizou-se a mesma dose de N para ambas as fontes (120 kg ha<sup>-1</sup>), provavelmente condicionando condições parecidas de mineralização do N orgânico do solo e de desenvolvimento do sistema radicular, assim, não proporcionando discrepâncias mensuráveis de acúmulo de N nos grãos.

O teor de N total nos grãos de milho no tratamento sem aplicação de N (testemunha) foi de

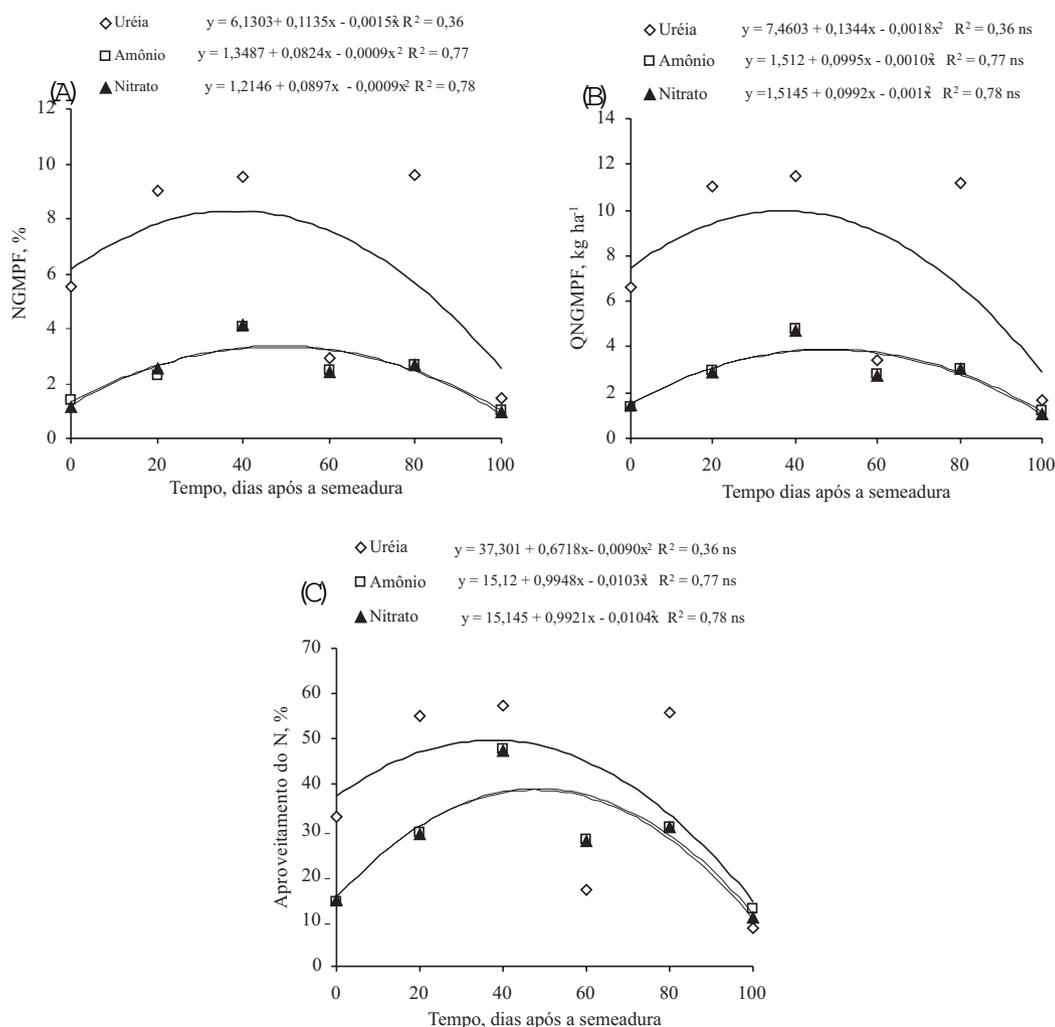
12,03 g kg<sup>-1</sup>. Considerando a produtividade de grãos (5503 kg ha<sup>-1</sup>), a quantidade de N acumulada nos grãos, que compreende a quantidade aportada pelo solo (QNGMPS), foi de 66,50 kg ha<sup>-1</sup>.

Comparando os valores da quantidade de N nos grãos provenientes do fertilizante para as distintas fontes de N (Tabela 2), com aqueles relacionados ao N proveniente do solo, verifica-se que a maior parte do N acumulado originou-se predominantemente desta última fonte, indicando que grande parte do N do fertilizante provavelmente permaneceu no solo. Esse efeito é relatado na literatura como "pool substitution", ou seja, o N mineral aplicado toma o lugar do N mineral nativo do solo, deixando, assim, maior quantidade deste propício à absorção pelas plantas (JENKINSON et al., 1985; RAO et al., 1992; POWLSON e BARRACLOUGH, 1993).

Pela quantidade total de N exportada pelos grãos, em média superior a  $100 \text{ kg ha}^{-1}$ , sugere-se a necessidade de enfatizar práticas de manejo do solo, de culturas e de fertilizantes nitrogenados que, além de aportar quantidade adequada deste nutriente ao milho, proporcionem a manutenção do seu estoque e do potencial produtivo do solo em longo prazo. Ressalta-se que neste estudo foi contabilizado somente o N contido nos grãos, desconsiderando o N acumulado na palha e no sistema radicular. Além disso, como já mencionada, pode ter ocorrido perdas de parte do N aplicado por processos de volatilização, desnitrificação ou lixiviação (LARA CABEZAS et al., 1997; CANTARELLA e DUARTE, 2004).

Considerando a média dos seis parcelamentos, o aproveitamento do N fertilizante nas formas de  $^{15}\text{NO}_3^-$  e  $^{15}\text{NH}_4^+$  obtidos neste estudo foram maiores do que os 11% ( $^{15}\text{NO}_3^-$ ) e 8% ( $^{15}\text{NH}_4^+$ ) analisados por CROZIER et al. (1998), e de 9% a 17% observados por REDDY e REDDY (1993), que, a exemplo deste estudo, também obtiveram diferenças não significativas no aproveitamento do N de fontes nitrogenadas sob as formas nítrica e amoniacal.

Verifica-se que o maior aproveitamento de N pelos grãos de milho para todas as formas de N foi com a aplicação, quando na planta havia oito folhas expandidas (Tabela 2). No entanto, independentemente dos tratamentos, os valores cresceram até este estágio (Figuras 2A, 2B e 2C), decrescendo logo em seguida para voltar a crescer com uma drástica redução no estágio de grãos pastosos. Quanto aos dados referentes ao estágio 3 (plantas com 12 folhas), estes devem ser interpretados com cautela, devido às possíveis perdas de N, como citado anteriormente. CALVACHE (1981) relatou que os pontos de inflexão observados em dois híbridos de milho, ocorreram aos 69 e 70 d.a.s. Normalmente, a quantidade de N absorvido pelo milho varia durante o ciclo de desenvolvimento da planta, em função da quantidade de raízes e da taxa de absorção por unidade peso da raiz (moles de  $\text{NO}_3^-$  ou  $\text{NH}_4^+$   $\text{h}^{-1} \text{g}^{-1}$ ); a quantidade aumenta progressivamente durante a fase vegetativa, atinge o máximo no início do estágio reprodutivo e cai na fase de enchimento de grãos (MENGEL e BARBER, 1974).



**Figura 2.** Porcentagem de nitrogênio nos grãos proveniente do fertilizante %NGMPF (A), quantidade - QNGMPF (B) e aproveitamento do N do fertilizante pelos grãos de milho (C), em função de distintas fontes e formas de N aplicadas ao solo em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura.

A interação entre os tratamentos versus parcelamento foi significativa apenas para as variáveis %NGMPF, QNGMPF e AP%, indicando a necessidade de se detalhar a análise de variância através da análise de regressão porque, tempo, no caso, é um fator quantitativo. Verifica-se, pela Figura 2 que, embora o padrão de absorção de N pelo milho não tenha se ajustado a nenhum modelo testado, os maiores coeficientes de determinação ( $R^2$ ) foram obtidos com o modelo quadrático. De maneira geral, independentemente da fonte nitrogenada, o maior aproveitamento do N do fertilizante foi para as aplicações realizadas na fase de pleno desenvolvimento vegetativo e no início do período reprodutivo, destacando-se a aplicação realizada no estágio de oito folhas expandidas (40 d.a.s.).

#### 4. CONCLUSÕES

1. O nitrogênio aplicado sob a forma amoniacal ou nítrica é acumulado equitativamente nos grãos do milho.
2. Os grãos de milho aproveitam mais nitrogênio da uréia do que do nitrato de amônio.
3. O nitrogênio aplicado no estágio de oito folhas expandidas promoveu maior acúmulo deste nutriente nos grãos.
4. As fontes e formas de nitrogênio não influenciam a produtividade de grãos nem o acúmulo de N do solo, que compreendeu a principal fonte deste nutriente para o milho.

#### AGRADECIMENTOS

À Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola S.A. - EBDA, pela oportunidade de realização do curso de Doutorado e à International Atomic Energy Agency - IAEA, pelo apoio financeiro (Projeto ARCAL RLA/5036) e à Agência de Paulista de Tecnologia - APTA, pela concessão de espaço físico e ao apoio na realização da pesquisa.

#### REFERÊNCIAS

BARRIE, A.; PROSSER, S.J. Automated analysis of light-element stable isotopes by isotope ratio mass spectrometry. In: BOUTTON, T.W.; YAMASAKI, S. (Ed.). **Mass spectrometry of soils**. New York: Marcel Dekker, 1996. p.1-46.

CALVACHE, A.M.U. **Absorção, translocação e eficiência de utilização do nitrogênio do fertilizante  $CO(^{15}NH_4^+)$  por dois híbridos de milho (*Zea mays* L.)**. 1981. 78f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

CANTARELLA, H.; DUARTE, A.P. Manejo da fertilidade do solo para a cultura do milho. In: GALVÃO, J.C.C.; MIRANDA, G.V. (Ed.). **Tecnologia de produção de milho**. Viçosa: UFV, 2004, cap.5, p.139-182.

CENTRO INTEGRADO DE INFORMAÇÕES AGROMETEOROLÓGICAS - CIIAGRO. Disponível em: <<http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline/#Dados%20Diários>>. Acesso em 20 jun. 2008.

COELHO, A.M.; FRANÇA, G.C.; BAHIA FILHO, A.F.C.; GUEDES, G.A.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.61-65, 1992.

COELHO, A.M.; FRANÇA, G.C.; BAHIA, A.F.C.; GUEDES, G.A.A. Balanço de nitrogênio  $^{15}N$  em Latossolo Vermelho-Escuro, sob vegetação de cerrado, cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.15, n.2, p.187-193, 1991.

CROZIER C.R.; KING, L.D.; VOLK, R.J. Tracing nitrogen movement in corn production systems in the North Carolina Piedmont: a nitrogen-15 study. **Agronomy Journal**, Madison, v.90, n.2, p.171-177, 1998.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, 1999. 412p.

ENGELS, C.; MARSCHNER, H. Plant uptake and utilization of nitrogen. In: BACON, P.E. (Ed.). **Nitrogen fertilizer environmental**. New York: Marcel Dekker, 1995. p.41-81.

GROVE, L.T.; RICHET, K.D.; MADERMAN, G.C. Nitrogen fertilization of maize on oxisol of the cerrado of Brazil. **Agronomy Journal**, Madison, v.27, n.2, p.261-265, 1980.

HARPER, L.H.; SHARPE, R.R. Nitrogen dynamics in irrigated corn: soil-plant nitrogen atmospheric ammonia transport. **Agronomy Journal**, Madison, v.87, n.4, p.669-675, 1995.

JENKINSON, D.S.; FOX, R.H.; RAINER, J.H. Interactions between fertilizer nitrogen and soil nitrogen - the so-called priming effect. **Journal Soil Science**, Oxford, v.36, n.3, p.425-444, 1985.

JUNG Jr.; P.E.; PETERSON, L.A.; SCHRADER, L.E. Response of irrigated corn to time, rate and sources of applied N on sandy soils. **Agronomy Journal**, Madison, v.64, n.5, p.668-670, 1972.

LARA CABEZAS, W.A.R.; ARRUDA, M.R.; CANTARELLA, H.; PAULETTI, V. TRIVELIN, P.C.O.; BENDASSOLLI, J.A. Imobilização de nitrogênio da uréia e do sulfato de amônio aplicado em pré-semeadura ou cobertura na cultura do milho no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.2, p.215-226, 2005.

LARA CABEZAS, W.A.R.; KORNDÖRFER, G.H.; MOTTA, S.A. Volatilização de  $N-NH_3$  na cultura de milho: II Avaliação de fontes sólidas e fluidas em sistema de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, n.3, p.481-487, 1997.

- 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). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 363-376, 2000.
- MAGALHÃES, J.R.; HUBER, D.M.; TSAY, C.Y. Influence of the form of nitrogen on ammonium, monoacids and N-assimilating enzyme activity in maize genotypes. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.18, p.47-763, 1995.
- MAGALHÃES, J.V. **Absorção e translocação de nitrogênio por plantas de milho (*Zea mays*, L.) submetidos a períodos crescentes de omissão de fósforo em solução nutritiva**. 1996. 76f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1995. 889p.
- MENGEL, D.B.; BARBER, S.A. Rate of nutrient uptake per unit of corn root under field conditions. **Agronomy Journal**, Madison, v.66, n.3, p.399-402, 1974.
- MENGEL, D.B.; NELSON, D.W.; HUBER, D.M. Placement of nitrogen fertilizers for no-till and conventional till corn. **Agronomy Journal**, Madison, v.74, p.515-518, 1982.
- POWLSON, D.S.; BARRACLOUGH, D. Mineralization and assimilation in soil-plant system. In: KNOWLES, R.; BLACKBURN, T.H. (Ed). **Nitrogen isotope techniques**, San Diego, Academic Press, 1993. p.209-242.
- RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agronômico, 1996. 285p. (Boletim técnico, 100)
- RAO, A.C.S.; SMITH, J.L.; PARR, J.F.; PAPENDICK, R.I. Considerations in estimating nitrogen recovery efficiency by the difference and isotopic dilution methods. **Fertilizer Research**, The Hague, v.33, n.3, p.209-217, 1992.
- REDDY, G.B.; REDDY, K.R. Fate of nitrogen-15 enriched ammonium nitrate applied to corn. **Soil Science of American Journal**, Madison, v.57, n.1, p.111-115, 1993.
- SAS INSTITUTE INCORPORATION. **The SAS-System for Windows release 6.11** (software). Cary, 1996.
- SCHORTEMAYER, M.; FEIL, B. Root morphology of maize under homogeneous or spatially separated supply of ammonium and nitrate at three concentration ratios. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.19, n.7, p.1089-1097, 1996.
- SCIVITTARO, W.B.; MURAOKA, T.; BOARETTO, A.E.; TRIVELIN, P.C.O. Utilização de nitrogênio de adubos verdes e mineral pelo milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.4, p.917-926, 2000.
- SILVA, E.C.; MURAOKA, T.; BUZZETTI, S.; TRIVELIN, P.C.O. Manejo de nitrogênio no milho em Latossolo Vermelho sob plantio direto com diferentes plantas de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.3, p.477-486, 2006.
- SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. adubação com nitrogênio. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. cap.5, p.129-144.
- STROMBERGER, J.A.; TSAI, C.Y.; HUBER, D.M. Interaction of potassium with nitrogen of nitrogen nutrition on growth and yield potential in maize. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.17, n.1, p.19-37, 1994.
- VARVEL, G.E.; SCHPERS, J.S.; FRANCIS, D.D. Ability for in-season correction of nitrogen deficiency in corn using chlorophyll meters. **Soil Science of American Journal**, Madison, v.61, n.4, p.1233-1239, 1997.
- VILLASBÔAS, R.L. **Alternativas para aumento da recuperação do nitrogênio da uréia pelo milho (*Zea mays* L.)**. 1990. 78f. Dissertação (Mestrado e Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- WARNCKE, D.D.; BARBER, S.A. Ammonium and nitrate uptake by corn (*Zea mays* L.) as influenced by nitrogen concentration and  $\text{NH}_4^+ / \text{NO}_3^-$  ratio. **Agronomy Journal**, Madison, v.65, p.950-953, 1973.
- XU, Q.F.; TSAI, C.L.; TSAI, C.Y. Interaction of potassium with the form and nitrogen and their influence in the growth and nitrogen uptake of maize. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.15, n.1, p.23-33, 1992.
- YIN, Z.H.; RAVEN, J.A. Influence of different nitrogen sources on nitrogen – and water use, and carbon isotope discrimination, in  $\text{C}_3$  *Triticum aestivum* L. and  $\text{C}_4$  *Zea mays* L. plants. **Planta**, Berlin, v.205, n.4, p.574:580, 1998.
- ZHANG, F.; MACKENZIE, A.F.; SMITH, D.L. Corn yield and shifts among quality constituents following application of different nitrogen fertilizer sources at several times during corn development. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.16, n.7, p.1317-1337, 1993.