



DOSES E MÉTODOS DE APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES NITROGENADOS NA CULTURA DO MILHO SOB IRRIGAÇÃO⁽¹⁾

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

RESUMO

Com o objetivo de determinar a curva de resposta e a eficiência de fontes de nitrogênio em função do método de aplicação na produção do milho, realizou-se um experimento em latossolo vermelho-escuro, fase cerrado, em Sete Lagoas, MG. Seu delineamento foi em blocos casualizados, com quatro repetições e oito tratamentos. Os tratamentos se iniciaram 37 dias após a semeadura, quando as plantas atingiram 7 a 8 folhas, e constaram da aplicação de 0, 30, 60, 120 e 240kg/ha de N na forma de uréia incorporada ao solo a 7,5cm; 60kg/ha de N na forma de uréia e sulfato de amônio aplicados na superfície do solo e, ainda, de uma testemunha sem aplicação de N no plantio ou cobertura. Houve pronunciada resposta na produção à aplicação de N, com um incremento de 80% no rendimento de grãos da dose zero para 120kg/ha de N. A dose de N necessária para atingir 90% da produção máxima foi de 80kg/ha. A capacidade do solo em suprir N à cultura foi de 54kg/ha, suficiente para produzir 3.900kg/ha de grãos. As fontes de N não diferiram em seus efeitos na produção de grãos e N absorvido, sendo a eficiência de utilização do N de 58 e 56kg de grãos/kg de N absorvido, respectivamente, para uréia e sulfato de amônio. O método de aplicação da uréia, na superfície e incorporada ao solo, não afetou a eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado pelo milho.

Termos de indexação: uréia, sulfato de amônio, método de aplicação, milho, solo de cerrado, irrigação.

SUMMARY: RATES AND METHODS OF NITROGEN FERTILIZER APPLICATION ON MAIZE CROP UNDER IRRIGATION

A field experiment in a Dark Red Latosol (Oxisol) was conducted at Sete Lagoas, State of Minas Gerais, Brazil, to determine the response curve and the efficiency of nitrogen sources, and to compare methods of nitrogen addition on maize crop production. A randomized complete block design with four replications and eight treatments was used. Treatments were initiated 37 days after planting, with the plants at the 7-8 leaf stage, and consisted on the incorporation of 0, 30, 60, 120 and 240kg/ha of N to a depth of 7.5 cm, 15 cm at the side of the row; 60 kg/ha of N as urea and ammonium sulfate side-dressed on the surface, and one control with no nitrogen addition. Grain yield increased 80%, when comparing the control with the 120kg/ha of N addition. The N rate needed to attain 90% of the maximum yield amounted to 80kg/ha. The N supplying capacity of the soil amounted to 54 kg/ha,

⁽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 no 18º Congresso Nacional de Milho e Sorgo. Recebido para publicação em março de 1991 e aprovado em março de 1992.

⁽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).

which was sufficient to yield 3,900 kg/ha of grains. There were no differences in grain production and N uptake by the plants due to N sources. The efficiency of N-use for the fertilizer amounted to 58 and 56 kg grain/kg N in the plant, for urea and ammonium sulphate, respectively. The method of addition of urea, incorporated into the soil or on the soil surface, did not affect the efficiency of N fertilizer use by the maize crop.

Index terms: urea, ammonium sulphate, methods of application, maize, Oxisol, irrigation.

INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é uma das culturas mais estudadas do ponto de vista nutricional, dada sua grande importância na alimentação humana e animal. Entre os três nutrientes primários fornecidos pelos fertilizantes, o nitrogênio desempenha um papel importante para o aumento da produção e das proteínas nos grãos.

É uma cultura que remove grandes quantidades de nitrogênio e usualmente requer adubação nitrogenada em cobertura para complementar a quantidade suprida pelo solo, quando se deseja produtividade elevada. Gass et al. (1971) verificaram que, para uma produção de 9.000kg/ha, a remoção de nitrogênio nos grãos foi de 174kg/ha, com aplicação de 85kg/ha de N.

Resultados de experimentos efetuados no Brasil, sob diversas condições de solo, clima e sistemas de cultivo, mostram resposta generalizada do milho à adubação nitrogenada (Raj et al., 1981; Grove et al., 1980; EMBRAPA, 1976). França et al. (1985) reportam que, para um grupo de 170 experimentos realizados em Minas Gerais, mais de 90% apresentaram respostas positivas ao nitrogênio, com aplicação de até 120kg/ha de N. Entretanto, o maior incremento foi verificado com a dose de 30kg/ha de N, cuja produção foi, em média, 47% superior à testemunha.

As recomendações atuais para a adubação nitrogenada em cobertura são realizadas com base em curvas de respostas, histórico da área e produtividade esperada. Para a agricultura de sequeiro, as recomendações de adubação nitrogenada em cobertura para a cultura do milho variam de 40 a 70kg/ha de N (COMISSÃO DE FERTILIDADE..., 1989). Presumindo que, em média, o solo tenha capacidade de suprimento de nitrogênio para uma produção de 3.500kg/ha de grãos (EMBRAPA, 1976; Grove et al., 1980; Coelho, 1987) e que são necessários em média 20kg/ha de N para produzir 1.000kg/ha de grãos, estas adubações seriam suficientes para produções de 4.500 a 6.000 kg/ha de grãos. Em agricultura irrigada, onde prevalece o uso de alta tecnologia para obtenção de elevada produtividade, essas recomendações seriam insuficientes.

Experimentos em condições de campo têm indicado que a recuperação do N fertilizante pela cultura do milho é, em média, de 50% (Fox et al., 1974; Neptune, 1977; Grove et al., 1980; Coelho, 1987). Do nitrogênio remanescente, parte é ou recuperada pelas culturas subsequentes ou, provavelmente, perdida através da lixiviação, ou, ainda, incorporada à matéria orgânica do solo, sendo o restante presumivelmen-

te perdido na forma de gases mediante a desnitrificação e volatilização de amônia.

Recente revisão realizada por Coelho (1987) de experimentos sobre o balanço do N fertilizante no sistema solo-planta, utilizando a técnica de isótopo ^{15}N , efetuados em condições de campo com as culturas de milho (*Zea mays* L.) e sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench)], indicou perdas do N fertilizante de 3 a 31%, para doses de 40 a 168kg/ha de N aplicadas nessas culturas. Essas perdas foram atribuídas principalmente aos processos de desnitrificação e/ou volatilização de amônia, devido às pequenas quantidades de N fertilizante encontradas nas camadas mais profundas (> 100cm) dos perfis dos solos, indicando, assim, limitada evidência de perdas por lixiviação.

Os fatores que levaram ao reconhecimento da importância da volatilização de amônia como mecanismo de perdas de nitrogênio do solo, de acordo com Allison (1966), foram: (a) aumento nas doses de nitrogênio aplicadas; (b) uso de amônia anidra e soluções de amônia de preferência aos sais de amônio; e (c) acentuado aumento no emprego da uréia, em que o N contido nesse produto precisa sofrer hidrólise para se transformar em amônia, antes de ser utilizado pelas raízes. Embora altas perdas de nitrogênio sejam geralmente associadas com o uso da uréia, esta é a fonte de nitrogênio mais utilizada no Brasil, representando 60% da produção nacional de fertilizantes nitrogenados. Conseqüentemente, pesquisas direcionadas para avaliação da eficiência do uso de fertilizantes devem envolver a uréia.

Entre as alternativas propostas visando reduzir ou mesmo eliminar as perdas de N uréia pela volatilização de amônia (NH_3) está a incorporação da uréia ao solo. Quando é aplicada na superfície do solo, as perdas de NH_3 por volatilização são pronunciadas devido à pouca chance que a NH_3 tem de ser adsorvida ao solo sob a forma de NH_4 . Fenn & Myamoto (1981) verificaram que a uréia necessita ser incorporada a 5cm de profundidade para eliminar as perdas de NH_3 . Considerável redução nas perdas de NH_3 com o aumento na profundidade de aplicação da uréia foi verificada por Rao & Batra (1981). A uréia aplicada na superfície do solo apresentou perdas de 60% do N-uréia aplicado; entretanto, quando incorporada ao solo a 7,5cm de profundidade, as perdas reduziram para menos de 10%.

O objetivo deste trabalho foi determinar a curva de resposta e a eficiência de fontes de nitrogênio em função do método de aplicação na produção do milho cultivado em um latossolo vermelho-escuro, fase cerrado, sob irrigação.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi efetuado em condições de campo, em área experimental da EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, Sete Lagoas (MG), em um latossolo vermelho-escuro, textura muito argilosa, relevo suave ondulado, fase cerrado. De acordo com Adámoli et al. (1986), a classe latossolo vermelho-escuro ocupa 18,6% da área na região dos Cerrados.

Amostras de solo coletadas na camada superficial (0-20cm), apresentaram as seguintes características químicas: pH em H₂O (1:2,5) = 5,90; Al³⁺ trocável = 0,00meq/100cm³; Ca²⁺ trocável = 3,20 meq/100cm³; Mg²⁺ trocável = 1,80 meq/100cm³ (KCl 1N); P disponível = 3 ppm e K⁺ disponível = 39 ppm (Mehlich); N total = 0,14% (macro-Kjeldahl); NH₄⁺ = 9,20kg/ha e N-(NO₂⁻ + NO₃⁻) = 5,20kg/ha (extração com KCl 1N e destilação com MgO e liga de Devarda), e M.O. = 3,55% (%C x 1,724).

A área experimental recebeu adubação corretiva com fósforo, potássio e zinco, nas doses de 200kg/ha de P₂O₅, 100kg/ha de K₂O e 9kg/ha de Zn, 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 foi realizada com aplicação de 10-90-60kg/ha de N, P₂O₅ e K₂O respectivamente, empregando como adubos a uréia, superfosfato triplo e cloreto de potássio.

O delineamento do experimento foi em blocos casualizados, com quatro repetições e oito tratamentos. Os tratamentos se iniciaram 37 dias após a semeadura, quando as plantas atingiram 7 a 8 folhas, e constaram de: adição de 0, 30, 60, 120 e 240kg/ha de N na forma de uréia incorporada ao solo em sulcos de 7,5cm localizados a 15cm das plantas, os quais foram depois cobertos; adição de 60kg/ha de N, com uréia e sulfato de amônio aplicados em superfície, em filete a 15cm das plantas e, ainda, de uma testemunha sem aplicação de N no plantio ou em cobertura.

A parcela experimental constou de uma área de 56m² (8,0 x 7,0m) com 7 linhas de milho espaçadas de 1,0m. A semeadura foi realizada em 1º/10/86, utilizando-se o híbrido simples Agrocerees 8631, cujas sementes foram tratadas com inseticida Semevin, na dosagem de 2,0 litros/100kg de sementes. Foram distribuídas 10 sementes por metro linear de sulco, procedendo-se ao desbaste 21 dias após a semeadura, de modo a se obter uma população de 50.000 plantas por hectare. Visando ao controle de plantas daninhas, foi aplicado o herbicida Primextra, na dosagem de 8,0 litros/hectare.

Adotou-se o sistema de irrigação por aspersão, sendo a necessidade de irrigação estimada através do balanço de água no solo. Durante o ciclo do milho, a área experimental recebeu 1.100mm de água, sendo 769mm via chuvas e 331mm via irrigações. A evapotranspiração real da cultura do milho (E_{Tr}), no período da emergência à colheita, foi de 605mm (média de 3,78mm/dia).

A colheita foi realizada em 18/3/1987, com os grãos apresentando um teor médio de umidade de 12%. Consideraram-se como área útil as três fileiras centrais, eliminando-se 1,0m nas extremidades, perfazendo uma área útil de 18,0m² (6 x 3m). Após a contagem do número de plantas, colheram-se e contaram-se as espigas, sendo as plantas cortadas rentes à superfície do solo. A palha de milho foi triturada, retirando-se amostras para determinação de matéria seca a 65°C e análises de nitrogênio total. Retiraram-se também amostras de grãos para avaliação de matéria seca a 65°C, nitrogênio total e umidade. Análises de N total foram realizadas pelo método macro-Kjeldahl, de acordo com o método descrito por Buresh et al. (1982).

A recuperação aparente do N fertilizante foi calculada considerando a diferença entre N total absorvido pelas plantas das parcelas adubadas (NT)F e aquele absorvido pelas plantas das parcelas-controle (NT)C, dividido pela quantidade de nitrogênio aplicada (N)A, que pode ser expressa pela equação:

$$\% \text{ N - recuperado} = [(NT)F - (NT)C] \times 100/(N)A.$$

Pelas análises da variância, avaliaram-se os efeitos dos tratamentos na produção de grãos, palhada e N absorvido. Na comparação de médias, utilizou-se o teste de Tukey, ao nível de 5%. Para expressar a resposta do milho à adubação nitrogenada, foi ajustada função de produção pelo método da regressão polinomial. A relação entre a produção relativa de grãos, expressa como a percentagem do máximo, e a concentração de nitrogênio na matéria seca da planta de milho foi ajustada utilizando o modelo linear descontínuo, de acordo com Alvarez (1985).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Produção de grãos e palhada

Independente da fonte de N e do método de aplicação, a produção de grãos aumentou de 3.943 para 7.110kg/ha, com o aumento da dose de zero para 120kg/ha de N, correspondendo a um incremento de 80% no rendimento (Quadro 1). Essa resposta é explicada pelo baixo teor de N mineral no solo por ocasião do plantio. Na camada de 0-40cm, encontraram-se 28kg/ha de N, estando 50% desse valor na camada superficial de 0-20cm. Segundo Magdoff et al. (1984), existem grandes probabilidades de resposta da cultura do milho à adubação nitrogenada, quando o teor médio de N-NO₃⁻ no solo, na camada de 0-30cm, for menor do que 36kg/ha.

Em experimentos em solos sob vegetação de cerrado, durante quatro anos consecutivos com milho, observou-se que as produções de grãos nas parcelas, sem aplicação de nitrogênio, atingiram cerca de 60% (3.600kg/ha) daquelas conseguidas com 140kg/ha de N (EMBRAPA, 1976).

A aplicação de 10kg/ha de N no plantio resultou num aumento na produção de grãos de 25% (994kg/ha), em relação ao tratamento testemunha (Quadro 1), o qual poderia ser explicado pela pequena

quantidade de N mineral (14kg/ha) na camada superficial do solo (0-20cm). Isso ficou evidente pelos sintomas de deficiência de nitrogênio apresentados pelas plântulas desenvolvendo nas parcelas que não receberam este nutriente na sementeira. Cruz et al. (1986), em experimentos nessa mesma unidade de solo, verificaram que a aplicação de apenas 20kg/ha de N no plantio resultou em 466kg/ha de grãos de milho a mais do que o tratamento que não recebeu nitrogênio no plantio.

As produções máximas de grãos e de palhada, estimadas através das funções médias de resposta (Figura 1), foram de 7.300 e 6.813kg/ha, obtidas com 188 e 219kg/ha de N respectivamente. A quantidade de N necessária para atingir 90% da produção máxima de grãos (6.570kg/ha) foi de aproximadamente 80kg/ha de N. Resultados semelhantes foram relatados por Grove (1979), em trabalhos realizados em ultissolos e oxissolos da América Tropical, inclusive no Brasil. Para se obter 95% da produção máxima, que, no caso do milho, foi de 5.000kg/ha, foram necessários 80-120kg/ha de N. Em experimentos de longa duração em latossolo vermelho-escuro fase cerrado (Suhet et al., 1986), a dose média de N para se atingir 80% da produção máxima de grãos de milho (5.200kg/ha) foi de 60kg/ha de N.

Nitrogênio na planta

A percentagem média de N na matéria seca total (grãos e palhada) variou de 0,67% na testemunha a 1,06% com aplicação de 120 e 240kg/ha de N, correspondendo à produção máxima de grãos (Figura 2). Esses valores são semelhantes aos encontrados por Grove et al. (1980) para o milho cultivado em um latossolo vermelho-escuro de Brasília (DF), em que a concentração média de N na matéria seca total variou de 0,75 a 1,18%, correspondendo o último valor à

produção máxima de grãos. Stanford (1966) verificou que a concentração média de nitrogênio na matéria seca da planta de milho para produtividades máximas, em diferentes condições de solo e clima, variou de 1,2 a 1,3%. Assim, a concentração de nitrogênio na planta oferece uma base promissora para estimar o requerimento de nitrogênio pelo milho e poderá ser utilizada como um dos parâmetros no cálculo da necessidade da adubação nitrogenada.

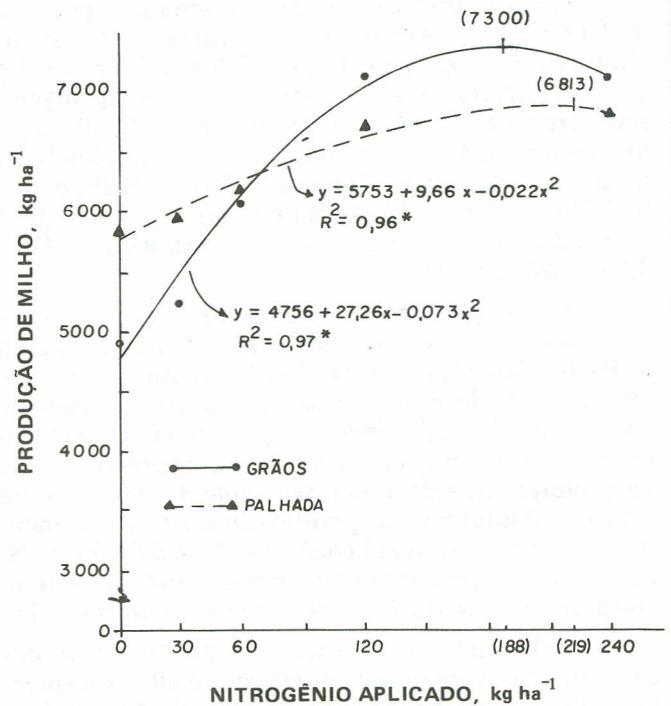


Figura 1. Produção de milho em função da aplicação de doses de nitrogênio em latossolo vermelho-escuro, textura muito argilosa, fase cerrado.

Quadro 1. Influência de fontes, níveis e métodos de aplicação de nitrogênio nos componentes da produção de milho cultivado em latossolo vermelho-escuro, textura muito argilosa fase cerrado

Fonte de nitrogênio	Níveis de N ⁽¹⁾		Método de aplicação ⁽²⁾	Peso de grãos (15,5% umidade)	Peso espigas	Peso palhada	Índice espigas
	Nap	Nac					
	kg/ha						
Test.	0	0		3.943d ⁽³⁾	4.532d	5.178b	0,98a
Uréia	10	0		4.937cd	5.664cd	5.835ab	0,98a
Uréia	10	30	Incorporada	5.242bc	6.026bc	5.951ab	1,00a
Uréia	10	60	Superfície	6.292ab	7.184ab	6.374a	1,00a
Uréia	10	60	Incorporada	6.115ab	6.972abc	6.161ab	1,00a
S. amônio	10	60	Superfície	6.665a	7.533a	6.761a	1,00a
Uréia	10	120	Incorporada	7.110a	8.164a	6.692a	1,00a
Uréia	10	240	Incorporada	7.093a	8.067a	6.770a	1,00a
Média				5.925	6.768	6.215	1,00
CV%				8,20	8,35	6,76	2,55

⁽¹⁾ Nap: dose de N aplicado no plantio; Nac: dose de N aplicado em cobertura aos 37 dias após o plantio. ⁽²⁾ Refere-se ao N em cobertura, na superfície do solo e incorporado a 7,5cm. ⁽³⁾ As médias assinaladas com as mesmas letras, dentro de cada coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

As quantidades de nitrogênio extraídas pelas plantas (exceto raízes) variaram de 54kg de N, para o tratamento testemunha, a 135kg/ha de N com a aplicação de 240kg/ha de N (Quadro 2). Por outro lado, embora a aplicação de 60kg/ha de N tenha proporcionado produção de milho da ordem de 6.300kg/ha (Quadro 1), esta foi insuficiente para repor a quantidade de nitrogênio exportada nos grãos (Quadro 2).

A capacidade desse solo em suprir nitrogênio à cultura foi de 54kg/ha, como indicado pela quantidade de nitrogênio absorvido no tratamento testemunha (Quadro 2). Esta quantidade equivale a uma taxa média de mineralização de 2,0% do nitrogênio orgânico do solo na camada de 0-20cm durante o ciclo da cultura do milho, encontrando-se 54kg/ha de N (1.920t de solo, densidade global = 0,96g/cm³ x 0,14% N total). Grove (1979), em uma revisão sobre adubação nitrogenada em várias culturas, entre elas o milho, cultivadas em ultissolos e oxissolos em vários países, inclusive no Brasil, verificou que esses solos apresentaram uma capacidade de suprimento natural de nitrogênio de 60 a 80kg/ha de N por cultivo.

Da quantidade total de nitrogênio extraído pela cultura, 80% em média (75kg/ha de N) encontra-se nos grãos (Quadro 2), sendo exportado na colheita, com apenas 20% (17kg/ha de N) na parte aérea das plantas para ser reincorporado ao solo. Isso equivale a uma relação média entre N do grão para N na parte aérea total de 0,80, também definido como eficiência na translocação do nitrogênio para os grãos (Moll et al., 1982). Ulloa et al. (1982), utilizando dois híbridos de milho adubados com 100kg/ha de N, obtiveram relação N do grão para N na parte aérea total de 0,67 e 0,73, respectivamente, para Cargill 111X e Cargill 511. Valores similares foram observados por Grove et al. (1980) com o híbrido Cargill 111 adubado com diferentes doses de nitrogênio.

Recuperação aparente do N fertilizante

A recuperação aparente do N fertilizante, calculada pelo método da diferença, foi, em média, 68% para a dose de 60kg/ha de N, independente da fonte e método de aplicação de nitrogênio, diminuindo para 55% com a dose de 120kg/ha de N, e decrescendo para 34% com aplicação de 240kg/ha de N (Figura 3). A baixa recuperação aparente do nitrogênio aplicado para a dose de 240kg/ha de N enfatiza a importância de ajustar as aplicações de fertilizantes para o mais próximo possível da quantidade requerida pela cultura.

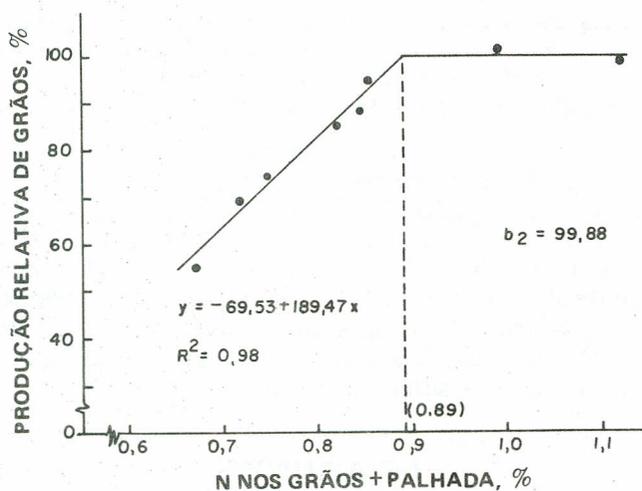


Figura 2. Relação entre produção relativa de grãos e concentração de nitrogênio na planta de milho em latossolo vermelho-escuro, textura muito argilosa, fase cerrado.

Quadro 2. Influência de fontes, níveis e métodos de aplicação de nitrogênio na produção de matéria seca e nitrogênio absorvido pelo milho, cultivado em latossolo vermelho-escuro, textura muito argilosa fase cerrado

Fonte de nitrogênio	Níveis de N ⁽¹⁾		Método de aplicação ⁽²⁾	Matéria seca		Nitrogênio		Nitrogênio absorvido		
	Nap	Nac		Grãos	Palhada	Grãos	Palhada	Grãos	Palhada	Total
— kg/ha —			* — kg/ha —		— % —		— kg/ha —			
Test.	0	0		3.375d ⁽³⁾	4.644b	1,210g	0,278f	41,00g	13,00g	54,00g
Uréia	10	0		4.215cd	5.280ab	1,275fg	0,267ef	54,26ef	14,07fg	68,31fg
Uréia	10	30	Incorporada	4.599bc	5.410ab	1,302efg	0,278ef	60,13ef	15,04efg	75,17ef
Uréia	10	60	Superfície	5.390ab	5.763a	1,418cd	0,309b-e	76,72cde	17,83cde	94,56cde
Uréia	10	60	Incorporada	5.235ab	5.580a	1,387de	0,284def	72,89de	15,87d-g	88,75def
S. amônio	10	60	Superfície	5.701a	6.099a	1,453cd	0,298c-f	82,84bc	18,15b-e	101,00bcd
Uréia	10	120	Incorporada	6.083a	6.025a	1,640b	0,334bc	99,89ab	20,10bc	120,00ab
Uréia	10	240	Incorporada	6.067a	5.912a	1,783a	0,448a	108,17a	26,55a	134,72a
Média				5.083	5.589	1,434	0,312	74,50	17,57	92,06
CV%				8,24	6,42	3,14	5,08	10,20	8,82	9,48

⁽¹⁾ Nap: dose de N aplicada no plantio; Nac: dose de N aplicada em cobertura aos 37 dias após o plantio. ⁽²⁾ Refere-se ao N em cobertura, na superfície do solo e incorporado a 7,5cm. ⁽³⁾ As médias assinaladas com as mesmas letras, dentro de cada coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

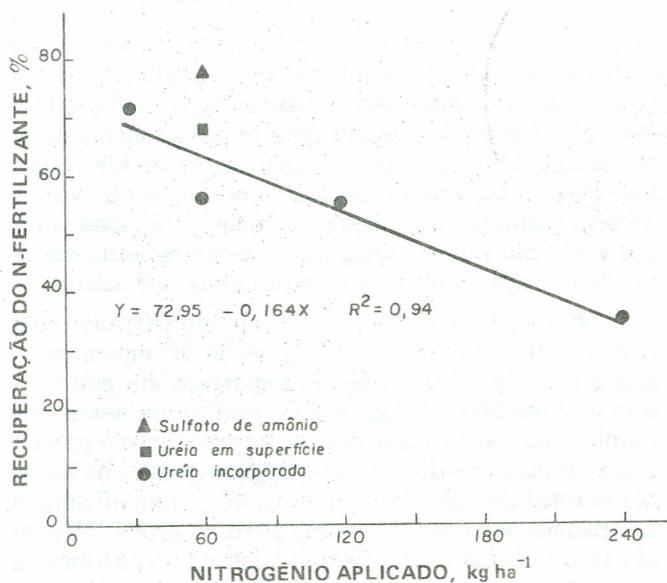


Figura 3. Influência de níveis, fontes e métodos de aplicação na recuperação do N fertilizante pelo milho cultivado em latossolo vermelho-escuro, textura muito argilosa, fase cerrado. (DMS - Tukey 5% = 34% e C.V. = 24%).

A recuperação aparente do N fertilizante de 55 e 68% (média de fontes e métodos de aplicação), respectivamente, para as doses de 120 e 60kg/ha de N, obtidas neste trabalho (Figura 3), são semelhantes às encontradas em outros experimentos realizados no Brasil (Neptune, 1977; Grove et al., 1980; França et al., 1985) e por Fox et al. (1974), em Porto Rico, para a cultura do milho e com doses similares de nitrogênio. Estão também de acordo com resultados de experimentos para verificar a recuperação do N fertilizante pelas culturas, revisados por Allison (1966), os quais indicaram, para uma simples colheita, valores entre 50 e 70%.

Fontes de nitrogênio e método de aplicação

Neste trabalho, o sulfato de amônio foi usado como uma fonte alternativa de nitrogênio para avaliar a eficiência relativa da uréia aplicada na superfície e incorporada ao solo, na dose de 60kg/ha de N para ambas as fontes.

Os resultados de produção de grãos (Quadro 1) e nitrogênio absorvido (Quadro 2) pela planta de milho, evidenciam certa superioridade do sulfato de amônio em relação à uréia. A produção de grãos e a quantidade de nitrogênio absorvido no tratamento com o sulfato de amônio são, em média, 7,5% (460kg/ha) e 9,8% (9,0kg/ha), respectivamente, superiores aos obtidos com a uréia. Entretanto, essas diferenças não são estatisticamente significativas pelo teste de Tukey a 5%. Em termos de eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado (EUFN), definido por Moll et al. (1982) como sendo a relação entre o peso de grãos e o N total absorvido, obtiveram-se 57, 59 e 56kg de grãos/kg de N absorvido, respectivamente, para uréia aplicada na superfície, incorporada ao solo e sulfato de amônio aplicado na superfície.

Pesquisas têm mostrado que muito pouco nitrogênio é perdido por volatilização de NH₃ do sulfato de

amônio aplicado na superfície em solos ácidos (pH < 6,0) (Terman & Hunt, 1964, Anjos & Tedesco, 1976). As diferenças verificadas no nitrogênio absorvido entre os tratamentos com uréia e sulfato de amônio (Quadro 2), que poderiam ser consideradas como uma medida das perdas de N uréia por volatilização aparente de NH₃, indicam que, nas condições desse experimento, essas perdas, principalmente da uréia aplicada na superfície do solo, se realmente ocorreram, foram pequenas. Desse modo, a eficiência relativa da uréia, verificada nesse trabalho, discorda dos resultados sobre perdas de nitrogênio por volatilização de NH₃ da uréia aplicada na superfície do solo, realizados em condições de laboratório ou casa de vegetação (Rodrigues, 1983, Cantarella & Tabatabai, 1985). Isso está de acordo com as afirmações de Hargrove & Kissel (1979), que, nas condições de campo, as perdas de N uréia por volatilização de NH₃ podem ser consideravelmente diferentes daquelas normalmente verificadas em condições de laboratório.

Os resultados de comparação entre fontes de nitrogênio encontradas neste experimento estão de acordo com aqueles obtidos de trabalhos realizados no Brasil (Campos & Tedesco, 1979; Grove et al., 1980; Coelho & Silva, 1986), e em outros países de clima tropical (Fox et al., 1974). Nesses trabalhos, não se evidenciaram diferenças nas produções de grãos de milho entre as fontes mais comumente usadas, incluindo uréia e sulfato de amônio.

CONCLUSÕES

1. Houve pronunciada resposta na produção à aplicação de nitrogênio com um incremento de 80% no rendimento de grãos da dose zero para 120kg/ha de N (3.943 para 7.110kg/ha respectivamente). A dose de N necessária para atingir 90% da produção máxima (6.570kg/ha) foi de 80kg/ha. A capacidade do solo em suprir N à cultura foi de 54kg/ha, suficiente para produzir 3.943kg/ha de grãos.

2. A percentagem média de N na matéria seca total variou de 0,67 na testemunha a 1,06 com aplicação de 120 e 240kg/ha de N, correspondendo à produção máxima de grãos. Do N extraído pela cultura, encontravam-se, nos grãos, em média, 80% (75kg/ha), sendo exportado na colheita apenas 20% (17kg/ha) na matéria seca da parte aérea.

3. As fontes de N não diferiram em seus efeitos na produção de grãos e N absorvido, sendo a eficiência de utilização do N de 58 e 56kg de grãos/kg de N absorvido, respectivamente, para uréia e sulfato de amônio.

4. O método de aplicação da uréia, na superfície e incorporada ao solo, não afetou a eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado pelo milho.

LITERATURA CITADA

- ADÂMOLI, J.; MACEDO, J.; AZEVEDO, L.G. de & NETTO, J.M. Caracterização da região dos cerrados. In: GOEDERT, W.J., ed. Solos dos cerrados; tecnologias e estratégias de manejo. Brasília, EMBRAPA/CPAC, 1986. p.33-74.

- ALLISON, F.E. The fate of nitrogen applied to soils. *Adv. Agron.*, New York, 18:219-258, 1966.
- ALVAREZ, V., V.H. Avaliação da fertilidade do solo, superfícies de resposta-modelos aproximados para expressar a relação fator resposta. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1985. 75p.
- ANJOS, J.T. & TEDESCO, M.J. Volatilização de amônia proveniente de dois fertilizantes nitrogenados aplicados em solos cultivados. *Científica*, Jaboticabal, 4(1):49-55, 1976.
- BURESH, R.J.; AUSTIN, E.R. & CRASWELL, E.T. Analytical methods in ^{15}N research. *Fert. Res.*, The Hague, 3:37-62, 1982.
- CAMPOS, A.X. & TEDESCO, M.J. Eficiência da uréia e do sulfato de amônio na cultura do milho (*Zea mays* L.). *Agron. sulriogr.*, Porto Alegre, 15(1):119-125, 1979.
- CANTARELLA, H. & TABATABAI, M.A. Volatilização de amônia em alguns fertilizantes nitrogenados aplicado a solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 20., Belém, 1985. Resumo. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1985. p.90.
- COELHO, A.M. Balanço de nitrogênio (^{15}N) na cultura do milho (*Zea mays* L.) em um Latossolo Vermelho-Escuro fase cerrado. Lavras, MG, Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1987. 142p. (Tese de Mestrado)
- COELHO, A.M. & SILVA, B.G. da. Fontes de nitrogênio na consorciação milho verde e feijão. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 15., Maceió, 1984. Anais. Brasília, EMBRAPA/EPEAL, 1986. p.323-330.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 4ª aproximação, 1989. 159p.
- CRUZ, J.C.; GARCIA, J.C.; CORRÊA, L.A.; SILVA, A.F. da & VIANA, A.C. Análise comparativa de sistemas de produção de milho em solo de cerrado. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 15., Maceió, 1984. Anais. Brasília, EMBRAPA/EPEAL, 1986. p.331-340.
- EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, Planaltina, Relatório Técnico Anual, Brasília, 1976. 150p.
- FENN, L.B. & MYAMOTO, S. Ammonia loss and associated reactions of urea in calcareous soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 45(1):537-540, 1981.
- FOX, R.H.; TALEYRAND, H. & BOULDIN, D.R. Nitrogen fertilization of corn sorghum in Oxisols and Ultisols in Puerto Rico. *Agron. J.*, Madison, 66(3):534-540, 1974.
- FRANÇA, G.E.; BAHIA FILHO, A.F.C.; VASCONCELOS, C.A. & SANTOS, H.L. dos. Adubação nitrogenada em Minas Gerais. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 16., Ilhéus, 1984. Anais. Ilhéus, CEPLAC, 1985. p.107-120.
- GASS, W.B.; PETERSON, G.A.; HAUCK, R.D. & OLSON, R.A. Recovery of residual nitrogen by corn (*Zea mays* L.) from various soil depths as measured by N tracer techniques. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, Madison, 35(2):290-294, 1971.
- GROVE, L.T. Nitrogen fertility in oxisols and ultisols of the humid tropics. New York, Cornell University, 1979. 27p. (Cornell International Agricultural Bulletin, 36)
- 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(2):261-265, 1980.
- HARGROVE, W.L. & KISSEL, D.E. Ammonia volatilization from surface applications of urea in the field and laboratory. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 43:359-363, 1979.
- MAGDOFF, F.R.; ROSS, D. & AMADON, J. A soil test for nitrogen availability to corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 48(3):1301-1304, 1984.
- MOLL, R.H.; KAMPRATH, E.J. & JACKSON, W.A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. *Agron. J.*, Madison, 74(1):562-564, 1982.
- NEPTUNE, A.M.L. Efeito de diferentes épocas e modos de aplicação do nitrogênio na produção do milho, na quantidade de proteína, na eficiência do fertilizante e na diagnose foliar utilizando sulfato de amônio - ^{15}N . Anais da ESALQ, Piracicaba, 34(1):515-539, 1977.
- RAIJ, B. van; FEITOSA, C.T.; CANTARELLA, H.; CAMARGO, A.P.; DECHEN, A.R.; ALVES, S.; SORDI, G.; VEIGA, A.A.; CAMPANA, M.P.; PETINELLI, A. & NERY, C. Análise de solo para discriminar a adubação para a cultura do milho. *Bragantia*, Campinas, 40(6):57-75, 1981.
- RAO, D.L.N. & BATRA, L. Ammonia volatilization from applied nitrogen in alkali soils. *Pl. Soil*, The Hague, 70:219-228, 1981.
- RODRIGUES, M.B. Volatilização, distribuição e nitrificação da amônia proveniente da uréia aplicada em amostras de solo. Piracicaba, ESALQ, 1983. 84p. (Tese de Mestrado)
- STANFORD, G. Nitrogen requirements of crops for maximum yield. In: McVICKAR, M.H. et al., ed. *Agricultural anhydrous ammonia; technology and use*. Memphis, Tenn, AAI/ASA/SSSA, 1966. p.237-257.
- SUHET, A.R.; PERES, J.R.R. & VARGAS, M.A.T. Nitrogênio. In: GOEDERT, W.J., ed. *Solos dos cerrados; tecnologias e estratégias de manejo*. Brasília, EMBRAPA/CPAC, 1986. p.167-202.
- TERMAN, G.L. & HUNT, C.M. Volatilization losses of nitrogen from surface-applied fertilizers, as measured by crop response. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 28(5):667-672, 1964.
- ULLOA, A.M.C.; LIBARDI, P.L. & REICHARDT, K. Utilização do nitrogênio por dois híbridos de milho. Campinas, Fundação Cargill, 1982. 66p.