

SEÇÃO IV - FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

ÉPOCAS E FORMAS DE APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO NO MILHO SOB PLANTIO DIRETO EM SOLO DE CERRADO⁽¹⁾

Edson Cabral da Silva⁽²⁾, Silvio Marcos Ferreira⁽²⁾, Gilson Pereira
Silva⁽³⁾, Renato Lara de Assis⁽³⁾ & Geovane Lima Guimarães⁽⁴⁾

RESUMO

O nitrogênio é o nutriente mineral requerido em maior quantidade pelo milho e o que mais influencia a produtividade de grãos. Com o objetivo de avaliar a melhor época e forma de aplicação do N na cultura do milho no sistema plantio direto, em solo de cerrado, foi realizado um experimento na Fazenda Vargem Grande, localizada no município de Montividiu (GO), em Latossolo Vermelho distrófico no ano agrícola 1996/97. A área experimental apresentava um histórico de 16 anos com plantio convencional e cinco anos de plantio direto com culturas anuais, sendo no último ano agrícola cultivada com soja, sucedida por aveia preta na entressafra. Utilizou-se o delineamento experimental de blocos casualizados com quatro repetições, e os tratamentos foram constituídos pela combinação de quatro épocas de aplicação do N (120 kg ha^{-1}): 20 dias antes da semeadura do milho, todo na semeadura, 15 dias após a emergência (DAE) e 35 DAE; duas formas de aplicação do N: superficial a lanço e incorporado na entrelinha da cultura; e dois tratamentos adicionais, correspondentes ao manejo do N predominantemente utilizado na região (16 kg ha^{-1} de N na semeadura + 90 kg ha^{-1} aos 35 DAE, a lanço em superfície), e no sistema-padrão da fazenda experimental (24 kg ha^{-1} de N na linha de semeadura + 102 kg ha^{-1} , incorporado na entrelinha). A época e o modo de aplicação do N influenciaram a produtividade do milho, sendo os melhores resultados obtidos com a incorporação do fertilizante na semeadura ou 15 DAE. O sistema de manejo da adubação nitrogenada predominantemente utilizado na região, 16 kg ha^{-1} de N na semeadura + 90 kg ha^{-1} em superfície aos 35 DAE, proporcionou menor produtividade de grãos de milho. A aplicação do N em pré-semeadura do milho, 20 dias antes, demonstrou não ser recomendável para as condições edafoclimáticas estudadas.

Termos de indexação: adubação nitrogenada, matéria orgânica do solo, uréia, plantas de cobertura.

⁽¹⁾ Parte do trabalho apresentado no XXVI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Rio de Janeiro (RJ), 1997. Recebido para publicação em abril de 2003 e aprovado em junho de 2005.

⁽²⁾ Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciências, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo – CENA/USP. Caixa Postal 12898, CEP 04010-970 São Paulo (SP). E-mail: ccsilva@cena.usp.br; silviomf@cena.usp.br

⁽³⁾ Professor da Faculdade de Agronomia, Universidade de Rio Verde - FESURV. Fazenda Fontes do Saber, Caixa Postal 104, CEP 75901-970 Rio Verde (GO). E-mail: gilson@fesurv.br; assis@fesurv.br

⁽⁴⁾ Professor da Escola Agrotécnica de São Gabriel da Cachoeira. Rodovia BR 307, Km 03, CEP 69750-000 São Gabriel da Cachoeira (AM). E-mail: glg-2003@bol.com.br

SUMMARY: TIMING AND METHODS OF NITROGEN APPLICATION TO NO-TILLAGE CORN ON CERRADO SOIL

Nitrogen (N) is the mineral nutrient required in largest amounts and is the one that most influence corn yield. With the objective of evaluating the best timing and methods of N fertilizer application on corn in a no-tillage system in a cerrado soil, this experiment was carried out at the Vargem Grande farm in Montividiu County, state of Goiás, Brazil, on a dystrophic Red Latosol (Rhodic dystrophic Haplustox) during the 1996/97 crop season. The experimental area had been cultivated with annuals crops for 16 years under conventional tillage and then under no-tillage for the last five years. The last summer crop was soybean, followed by black oat during the fallow period. The treatments were distributed in a randomized complete block design with four replications. Treatments consisted of four N application timing (20 days before corn sowing, total dose at sowing, and 15 and 35 days after plant emergency (DAE)) using two application methods (broadcast and incorporated in-between rows) plus two additional treatments corresponding to the most common method used in the region for N application ($16 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ at sowing + $90 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ broadcasted at 35 DAE) and the experimental farm standard system ($24 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ in the sowing furrow + $102 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ incorporated in-between rows). Timing and method of N application influenced the corn yield. Best results were obtained with incorporation of the fertilizer either at sowing or 15 DAE. The regionally most-used nitrogen fertilizer management system ($16 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ at sowing + $90 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ broadcasted at 35 DAE) led to the lowest corn grain yield. Nitrogen application 20 days before corn sowing proved not to be recommendable for the edaphic and climatic conditions of the study region.

Index terms: nitrogen fertilization, soil organic matter, urea, cover crops.

INTRODUÇÃO

O sistema plantio direto (SPD), quando bem manejado, tem proporcionado produtividade de milho superior a de outros sistemas de cultivo na região de cerrado (Fernandes et al., 1998). O não-revolvimento do solo promove modificações na ciclagem dos nutrientes, sendo o N o mais afetado, uma vez que, com a decomposição mais lenta dos resíduos vegetais deixados na superfície do solo, processos de imobilização, mineralização, lixiviação, volatilização e desnitrificação são alterados (Lara Cabezas et al., 2000). Resultados de pesquisas em condições edafoclimáticas muito diferentes daquelas do cerrado, e que apresentam considerável acúmulo de palha, maior teor de matéria orgânica do solo (MOS) e maior tempo de adoção do SPD, têm recomendado manejo da adubação nitrogenada para condições desta região.

Em virtude da importância desta região na produção agrícola brasileira, há necessidade de estudos mais específicos à dinâmica do N no sistema solo-planta, visando à tomada de decisão quanto a formas de manejos, de tal modo que a disponibilidade do nutriente seja sincronizada com a necessidade da cultura. O N é o nutriente exigido em maior quantidade e o que mais influencia a produtividade do milho (Amado et al., 2002), mas também o que mais onera o custo de produção (Silva et al., 2001).

Na região de cerrado, encontra-se aproximadamente 40 % do total da área cultivada em SPD no País, cerca de oito milhões de hectares (Lopes et al., 2004), e o milho constitui a principal cultura utilizada em rotação/sucessão com a soja nesse sistema. No entanto, os solos dessa região, principalmente os Latossolos, apresentam baixa capacidade de suprimento de N para o milho, em virtude dos seus relativos baixos teores de matéria orgânica. Além disso, a estiagem prolongada na entressafra dificulta o cultivo de adubos verdes como fonte de N, assim como reduz a sua produtividade de matéria seca, e a comum ocorrência de veranicos influencia a taxa mineralização do N orgânico do solo e dos resíduos vegetais (Sousa & Lobato, 2002). Por outro lado, a possibilidade de ocorrência de chuvas de alta intensidade pode favorecer perdas de N, principalmente na forma de nitrato, por lixiviação (Lara Cabezas et al., 2000).

A forma de aplicação do N pode influenciar o seu aproveitamento pelo milho, e a aplicação da uréia a lanço sobre a superfície do solo, geralmente utilizada por grande parte dos produtores na região de cerrado, em virtude da facilidade de aplicação e do rendimento operacional, pode resultar em grandes perdas de N por volatilização de amônia (Cantarella, 1993; Lara Cabezas et al., 1997) e danos (queima) foliares (Yamada, 1996). Além disso, pode ocorrer maior imobilização do N mineral pelos microrganismos quimiorganotróficos para a decomposição dos

resíduos vegetais presentes na superfície do solo (Sá, 1993; Silva et al., 2001; Amado et al., 2002).

A absorção de N ocorre durante todo o ciclo vegetativo do milho e, apesar de as exigências nutricionais serem menores nos estádios iniciais de crescimento, pesquisas indicam que altas concentrações de N na zona radicular são benéficas para promover o rápido crescimento inicial da planta e o aumento na produtividade de grãos (Mengel & Barber, 1974; Yamada, 1996; Varvel et al., 1997). No estágio de quatro a seis folhas, ocorrem as diferenciações das várias partes da planta e a definição de sua produção potencial. Assim, a ocorrência de deficiência de N nesta fase reduz o número de óvulos nos primórdios da espiga (Schröder et al., 2000).

Na região Sul do Brasil, algumas pesquisas têm demonstrado vantagens na aplicação do N em pré-semeadura do milho (Sá, 1996); outras, a necessidade de aumento da dose de N no momento da semeadura para suprir a carência inicial decorrente da imobilização microbiana (Pöttker & Roman, 1994; Argenta & Silva, 1999). Entretanto, muitas variáveis condicionam a dinâmica do N no SPD, principalmente o tipo de solo, o manejo e a precipitação (Basso & Ceretta, 2000). Além dessas, recentemente, Amado et al. (2002) demonstraram a importância de considerar a cultura antecessora ao milho para o manejo do N no SPD. Tal manejo tem sido a parte mais desafiante e limitante na produção de milho, principalmente nos solos da região de cerrado, que, geralmente, apresentam baixa capacidade de suprimento de N.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a melhor época e forma de aplicação da adubação nitrogenada na cultura do milho no SPD, em solo de cerrado.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido na Fazenda Vargem Grande, localizada no município de Montividiu-GO, com longitude 51° 27' 16" W, latitude 17° 22' 53" S e altitude de 930 m, no ano agrícola 1996/97. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico (Embrapa, 1999), originalmente coberto por vegetação de cerrado e relevo plano, com declividade média de 1%. A área experimental apresentava um histórico de 16 anos com plantio convencional e os últimos cinco anos em SPD, com as culturas anuais de milho e soja em esquema de rotação. No último ano agrícola (1995/96), foram cultivadas soja, no verão, e aveia preta, na entressafra (1996), com a finalidade de formar palhada para o experimento subsequente.

A aveia preta foi dessecada 20 dias antes da semeadura do milho (18/10/96), utilizando-se os

herbicidas Glifosate e 2,4-D, a qual apresentava 3,4 t ha⁻¹ de matéria seca, determinada em amostras coletadas com o auxílio de uma armação metálica de 0,5 x 0,5 m, em quatro pontos da área útil das parcelas.

Na análise química do solo, realizada antes da instalação do experimento em junho de 1996, na camada de 0,0 a 0,20 m, foram encontrados: pH (CaCl₂) 4,6; 20 mg dm⁻³ de P (resina); 32,8 g kg⁻¹ de MO; 15 mmol_c dm⁻³ de Ca²⁺; 5 mmol_c dm⁻³ de Mg²⁺; 3,0 mmol_c dm⁻³ de K; 62 mmol_c dm⁻³ de H+Al; 1,3 mmol_c dm⁻³ de Al³⁺; 23 mmol_c dm⁻³ de SB; 85 mmol_c dm⁻³ de CTC e V igual a 27%, conforme método descrito em Embrapa (1979). Na análise granulométrica, encontraram-se 230, 660 e 110 g kg⁻¹ de areia, argila e silte, respectivamente. Em agosto de 1996, aplicou-se 1,0 t ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT 60%), com vistas em elevar a saturação por bases a 50%.

As parcelas experimentais constaram de 12 linhas de 20 m de comprimento, espaçadas de 0,90 m entre si, correspondendo a uma área total de 216 m² por parcela, considerando-se, como área útil, as quatro linhas centrais, desprezando-se 2,0 m nas extremidades, num total de 57,6 m². O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com dez tratamentos e quatro repetições, dispostos em esquema fatorial (4 x 2) + 2, sendo quatro épocas de aplicação de N: 20 dias antes da semeadura (DAS), todo N na semeadura, 15 dias após a emergência (DAE) e aos 35 DAE; duas formas de aplicação do N: superficial a lançar em área total e incorporado na entrelinha da cultura, e dois tratamentos adicionais: correspondentes ao sistema de manejo do N predominantemente utilizado na região T9 e ao sistema-padrão da fazenda experimental T10 (Quadro 1).

As adubações nitrogenadas de cobertura, na forma incorporada, foram aplicadas mecanicamente, utilizando-se equipamento apropriado para o SPD, com disco de corte para abertura do sulco e deposição do fertilizante, sendo este aplicado em duas linhas na entrelinha da cultura, espaçadas de 0,50 m entre si e 0,20 m da linha da cultura. Para os tratamentos que receberam N superficial, este foi distribuído mecanicamente a lançar, em área total.

A semeadura do milho foi realizada mecanicamente com semeadora apropriada para o SPD, numa densidade de 5,5 sementes por metro linear e espaçadas de 0,90 m entre linhas, em 07/11/96. Utilizou-se o híbrido Cargil 901, de ciclo semiprecoce. A adubação de semeadura foi de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 80 kg ha⁻¹ de K₂O e o N de acordo com o respectivo tratamento (Quadro 1), aplicada a 0,05 m abaixo e ao lado das sementes.

A fonte de N utilizada em cobertura foi a uréia, exceto para o tratamento adicional - padrão da fazenda experimental, em que se utilizaram 300 kg ha⁻¹ da fórmula 34-00-15, sendo a

Quadro 1. Tratamentos utilizados de acordo com as épocas e formas de aplicação e doses de N

Tratamento	Dose de N		Época de aplicação do N	Forma de aplicação do N
	Linha de semeadura	Cobertura na entrelinha		
	————— kg ha ⁻¹ —————			
T1	30	90	35 DAE ⁽¹⁾	Incorporado
T2	30	90	35 DAE	Superfície
T3	30	90	15 DAE	Incorporado
T4	30	90	15 DAE	Superfície
T5	30	90	Semeadura	Incorporado
T6	30	90	Semeadura	Superfície
T7	30	90	20 DAS	Incorporado
T8	30	90	20 DAS	Superfície
T9 (adicional)	16	90	35 DAE	Superfície
T10 (adicional)	24	102	Semeadura	Incorporado

⁽¹⁾ DAE = dias após a emergência; DAS = dias antes da semeadura.

quantidade equivalente em K₂O da fórmula (45 kg ha⁻¹), descontada da adubação de semeadura do respectivo tratamento, para igualar as doses de K aplicadas nos tratamentos.

O controle de plantas daninhas foi realizado no dia 22/11/96, com o herbicida pós-emergente Atrazina + óleo mineral, na dose de 5 L ha⁻¹. No dia 30/11/96, foi feita aplicação de 0,3 L ha⁻¹ de Lufenurum 0,5 %, para o controle da *Spodoptera frugiperda* (lagarta do cartucho).

O estande inicial foi determinado 20 dias após a emergência das plântulas, com auxílio de uma trena, contando-se as plantas das quatro linhas centrais de cada parcela. O estande final foi determinado cinco dias antes da colheita. A altura de planta foi medida por ocasião da maturação fisiológica (25/02/97), época em que os grãos apresentavam uma camada negra no ponto de inserção com o sabugo, medindo-se com auxílio de uma régua graduada a distância entre o colo da planta e a inserção da última folha. Para a altura de espiga, mediu-se a distância entre o colo da planta e a inserção da espiga principal (superior), em amostras de 10 plantas na área útil da parcela.

Para o teor de N na folha, coletou-se, por ocasião do florescimento, o terço central de 20 folhas da base da espiga principal dentro da área útil da parcela, sendo o material lavado com água corrente e detergente a 1 %, seco em estufa com circulação e renovação forçada de ar a 60–70 °C; em seguida, moído em moinho tipo Wiley e determinado o teor de N, segundo método descrito em Malavolta et al. (1997).

A colheita foi realizada manualmente, no dia 08/03/97, com posterior trilhagem, pesagem dos grãos, determinação do teor de umidade e impurezas, e os dados transformados em kg ha⁻¹ (13 % de base úmida).

Os dados foram submetidos à análise de variância, utilizando-se o programa estatístico SAS, e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$ e $p < 0,01$). Realizou-se também análise de correlação e comparação, pelo teste t ($p < 0,05$ e $p < 0,01$), da altura de planta e da altura de espiga, bem como do teor de N na folha versus a produtividade de grãos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o ciclo da cultura do milho, de novembro de 1996 a março de 1997, não houve a incidência de períodos de estiagem (veranicos), comuns nessa região, que limitassem o desenvolvimento da cultura, influenciando a produtividade de grãos (Figura 1).

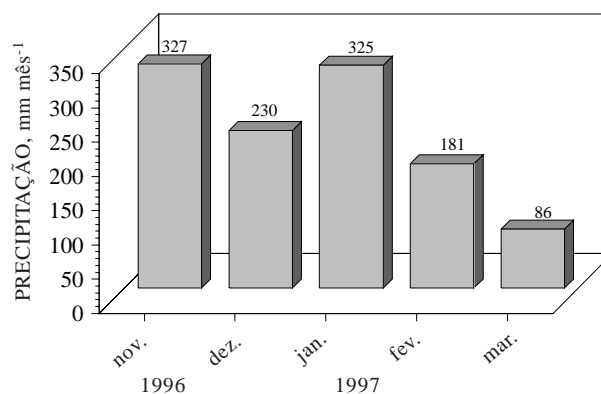


Figura 1. Precipitação pluviométrica ocorrida no período de novembro de 1996 a 09 de março de 1997 na Fazenda Vargem Grande, Montividiu (GO)

A produtividade do milho foi afetada pelas épocas e pelas formas de aplicação da adubação nitrogenada (Quadro 2). O efeito das formas de aplicação do N foi menor que o das épocas de aplicação, fato este que deve estar relacionado com a elevada precipitação ocorrida na área experimental (Figura 1), durante a condução do experimento. Isso pode ter promovido maior lixiviação do N aplicado na superfície do solo e reduzido as perdas do N por volatilização (Cantarella, 1993; Lara Cabezas et al., 1997). Pode ter também ocorrido menor imobilização biológica do N, processo de grande relevância na redução da disponibilidade de N-mineral (Salet et al., 1997; Amado et al., 2002).

A relação C/N dos resíduos vegetais das culturas em uma rotação/sucessão influencia a velocidade e a taxa de mineralização/imobilização e, conseqüentemente, a disponibilidade de N mineral na solução do solo (Pöttker & Roman, 1994). Dessa forma, a aplicação de todo o N na semeadura incorporado ao solo, e aos 15 DAE incorporado, desfavoreceu certamente a imobilização do N pelos microrganismos quimiorganotróficos para a decomposição dos resíduos da aveia preta e das plantas daninhas (Sá, 1996; Ceretta et al., 2002). Isto teria condicionado uma maior e mais contínua disponibilidade de N mineral na solução do solo, provocado maior aproveitamento do N pelo milho e maior resposta em produtividade de grãos (Amado et al., 2002). Tais resultados também foram observados por Salet et al. (1997), estudando a dinâmica de íons na solução de um solo submetido ao SPD, que verificaram que a maior imobilização microbiana do N de fertilizante foi responsável pela menor absorção de N no SPD. Constatações semelhantes foram feitas também por Muzilli (1983); Heinzmann (1985) e Sá (1993).

O tratamento referente ao sistema-padrão da fazenda experimental, no qual todo o N foi

incorporado ao solo por ocasião da semeadura, foi significativamente superior em produtividade de grãos em relação ao sistema predominante na região (Quadro 2). No sistema predominantemente utilizado na região, com a aplicação do N aos 35 DAE em superfície, certamente houve deficiência de N para a cultura. Na comparação entre o sistema-padrão da fazenda experimental e os tratamentos que receberam o N na forma incorporada, apenas ocorreu diferença significativa, com menor produtividade de grãos, para o N aplicado aos 35 DAE e 20 DAS. Isto é indicativo de que a aplicação do N aos 35 DAE, independentemente da forma de aplicação (superficial ou incorporado), é tardia para a realização da cobertura nitrogenada no milho em SPD e que a aplicação em pré-semeadura não é recomendável para as condições em que foi desenvolvido o experimento.

Os resultados da produtividade média de grãos da cultura do milho, considerando as formas e épocas de aplicação da adubação nitrogenada (Quadro 2), demonstraram que o N aplicado todo na semeadura e incorporado, aos 15 DAE incorporado e no padrão da fazenda experimental (também todo N na semeadura incorporado) promoveu maior produtividade de grãos, em relação aos demais tratamentos.

Para o N aplicado em superfície (Quadro 2), a maior resposta em produtividade de grãos foi com a aplicação aos 15 DAE e todo o N na semeadura. Todavia, a aplicação em superfície proporcionou menor produtividade de grãos, em relação aos tratamentos que receberam o N incorporado, exceto para a aplicação 20 DAS que foi indiferente quanto à forma de aplicação do N, mas apresentou baixa produtividade de grãos, sendo esta superior apenas ao manejo predominantemente utilizado na região, o qual apresentou a menor produtividade de grãos

Quadro 2. Médias de produtividade de grãos de milho, considerando a época e forma de aplicação da adubação nitrogenada no sistema plantio direto

Época de aplicação do N	Produtividade de grãos de milho	
	N aplicado incorporado	N aplicado em superfície
	kg ha ⁻¹	
Semeadura	6.688 Aa ⁽¹⁾	5.764 Ab
15 dias após a emergência	6.604 Aa	6.187 Ab
35 dias após a emergência	5.254 Ba	4.613 Bb
20 dias antes da semeadura	4.998 Ba	4.731 Ba
Predominante na região	-	3.829 Cb
Padrão da fazenda experimental	6.259 Aa	-

⁽¹⁾ Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5 %.

dentre todos os tratamentos avaliados. De modo geral, no SPD, a adubação nitrogenada de cobertura é aplicada na superfície do solo, pela maior facilidade, tempo e custo da operação; entretanto, as chances de perdas por volatilização de NH_3 são aumentadas, pois os restos de cultura promovem a hidrólise rápida do fertilizante e dificultam a retenção da amônia produzida (Cantarella, 1993; Lara Cabezas et al., 1997), além de favorecerem a imobilização do N (Sá, 1993; Howard & Essington, 1998).

A relativa pequena resposta em produtividade de grãos para a aplicação do N em pré-semeadura, 20 DAS do milho, sendo indiferente quanto à forma de aplicação do N, pode ter decorrido da elevada precipitação pluviométrica na área experimental no intervalo entre a aplicação e os estádios iniciais de desenvolvimento do milho, tendo favorecido a percolação do N para as camadas mais profundas do solo, ficando este fora do alcance das raízes, principalmente na fase inicial, quando as raízes exploram um pequeno volume de solo (Basso & Ceretta, 2000). Outro ponto a ser considerado na aplicação do N em pré-semeadura é que, quando aplicado sobre resíduos vegetais de alta relação C/N, como, por exemplo, os da aveia preta, podem ocorrer perdas por volatilização (Sá, 1996; Lara Cabezas et al., 1997). Neste caso, deve-se dar preferência a outra fonte nitrogenada em substituição à uréia. Esta fonte, em virtude da presença da urease nos resíduos vegetais, associada à umidade, favorece as perdas do N por volatilização (Cantarella, 1993).

A baixa resposta em produtividade de grãos para a aplicação do N em pré-semeadura do milho (20 DAS) permite inferir que, independentemente da forma de aplicação do N, ela pode ser arriscada para as condições experimentais estudadas e, provavelmente, para a maior parte da região de cerrado, em virtude de ser comum a ocorrência de chuvas de alta intensidade nessa região, podendo favorecer a perda do N por lixiviação (Muzilli, 1983) e por volatilização (Lara Cabezas et al., 1997). Entretanto, ressalta-se que, em outras condições edafoclimáticas, pesquisas já registraram ganhos em produtividade com a antecipação do N à semeadura do milho (Sá, 1996), bem como já demonstraram, como neste estudo, que a aplicação antecipada do N é arriscada e tem acarretado menor produtividade de milho (Basso & Ceretta, 2000).

A menor produtividade de grãos foi para época e forma de aplicação do N predominantemente utilizada na região (Quadro 2), ou seja, a aplicação do N na superfície aos 35 DAE com 16 kg ha^{-1} de N na semeadura. Isto, provavelmente, deveu-se a quantidade de N aplicada na semeadura do milho ser insuficiente para compensar a imobilização microbiana do N (Lara Cabezas et al., 2000; Amado et al., 2002). Aos 35 DAE, provavelmente, a planta já havia definido sua produção potencial, a qual

ocorre no estágio de quatro a seis folhas (Mengel & Barber, 1974). Estes dados corroboram os de Schreiber et al. (1988) e Yamada (1996), demonstrando a importância de manter altos níveis de N mineral no solo nos estádios iniciais da cultura do milho. Resultados nesse sentido foram também observados por Sá (1993), avaliando as respostas a N pelo milho, após a cultura da aveia preta em SPD, onde a aplicação de doses mais elevadas na semeadura permitiu a compensação da carência inicial de N para as plantas de milho, graças à imobilização do N durante a mineralização dos resíduos, sendo a resposta ao N aplicado em cobertura inferior à da semeadura.

De maneira geral, estima-se que para a produção de uma tonelada de grãos de milho sejam necessários de 20 a 25 kg ha^{-1} de N (Yamada, 1996; Sousa & Lobato, 2002), absorvido durante todo o ciclo vegetativo da cultura (Schröder et al., 2000). Pelos resultados do presente trabalho, observou-se que a aplicação do N aos 15 DAE incorporado, de todo N na semeadura incorporado e no sistema-padrão da fazenda experimental, onde também todo N foi incorporado ao solo por ocasião da semeadura do milho, promoveu maior resposta em produtividade de grãos de milho, em relação à época predominante na região (35 DAE), indicando que esta época não deve ser utilizada no SPD.

O estande inicial e o final (Figura 2) não demonstraram diferenças significativas entre si, indicando não ter havido interferência das épocas e das formas de aplicação de N na germinação e desenvolvimento das plantas, mesmo quando a maior dose (30 kg ha^{-1}) foi utilizada na linha de semeadura. Neste caso, a aplicação do fertilizante nitrogenado, quando superior a este valor, aplicada na entrelinha, não teria causado efeito salino às sementes (Yamada, 1996). O estande final ficou por volta de 55.000 a 57.000 plantas por hectare, valor recomendado para o híbrido utilizado.

A altura de plantas foi influenciada pelas épocas e formas de aplicação do N (Quadro 3), tendo sido os maiores valores observados nos tratamentos em que se aplicou o N aos 15 DAE, todo N na semeadura e no sistema-padrão da fazenda experimental. A aplicação do N em pré-semeadura do milho aos 20 DAS, a aplicação aos 35 DAE e no sistema predominantemente utilizado na região proporcionou as menores alturas de plantas. A mesma tendência ocorreu em relação à altura de espigas, indicando estar essa variável intimamente associada à altura de plantas. Resultados semelhantes foram obtidos por Santos & Pereira (1994) entre altura de plantas e espigas, trabalhando com milho no SPD. No entanto, deve-se considerar que estas características são de alta herdabilidade genética e menos dependentes do meio, a menos que a planta passe por uma deficiência nutricional muito acentuada, o que pode ter ocorrido nos tratamentos

em que o N foi aplicado ao 35 DAE e, principalmente, no sistema predominantemente utilizado na região, que só recebeu 16 kg ha⁻¹ de N na semeadura.

Com relação às formas de aplicação do N, as maiores médias em altura de planta e espiga foram observadas quando o N foi incorporado ao solo; provavelmente, isto ocasionou menores perdas por volatilização, além de menor imobilização microbiana, em decorrência do menor contato do N com os resíduos vegetais de aveia preta e plantas daninhas presentes na superfície do solo (Ceretta et al., 2002).

O teor de N na folha na época do florescimento do milho (Quadro 3) foi influenciado pelas épocas e formas de aplicação do N e ficou dentro da faixa descrita como adequada, de 27,5 a 32,5 g kg⁻¹ de N

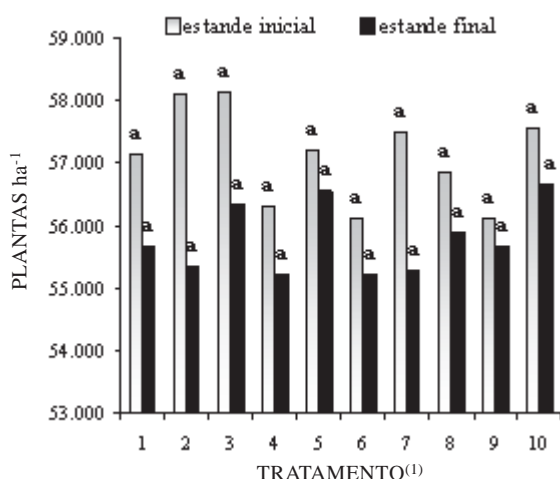


Figura 2. Médias de estande inicial e estande final, considerando as épocas e formas de aplicação de N na cultura do milho (Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si a 5 % pelo teste de Tukey). ⁽¹⁾ Quadro 1.

de matéria seca (Malavolta et al., 1997), apenas quando se aplicou o N na semeadura, aos 15 DAE e no sistema-padrão da fazenda experimental.

Para formas de aplicação do N, os maiores teores foram observados quando se incorporou o N, provavelmente por ter reduzido os processos de imobilização microbiana e de perdas por volatilização, permanecendo, assim, maior teor na solução do solo, favorecendo maior e mais contínua absorção pelo milho, sendo redistribuído para o grão na fase reprodutiva. A formação de grãos de milho está intimamente relacionada com a translocação de açúcar e de nitrogênio na planta de órgãos vegetativos, principalmente das folhas (Karlen et al., 1988). Além disso, folhas bem nutridas em N têm maior capacidade de assimilação de CO₂ e de síntese de carboidratos durante a fotossíntese, pois o N é vital em todos os processos metabólicos da planta por ser constituinte de proteínas, enzimas, coenzimas, ácidos nucleicos e integrantes da molécula de clorofila (Büll, 1993). Dessa forma, possivelmente, a aplicação do N na superfície do solo e a aplicação aos 20 DAS favoreceram a maior perda de N do fertilizante do sistema, resultando em menores produtividades de biomassa.

A dinâmica no solo do N do fertilizante mineral ou orgânico tem relação direta com o teor de matéria orgânica do solo, com o tipo de cultura cultivada anteriormente, principalmente relação C/N, tipo de solo, dentre outros, sendo os processos de imobilização/mineralização governados pelas condições climáticas (Amado & Mielniczuk, 2000). Nesse sentido, Bortolini et al. (2002) observaram que a aplicação de todo o N em pré-semeadura, no momento da dessecação da aveia, promoveu menor acúmulo deste nutriente na planta em relação à aplicação em cobertura. Muzilli (1983), estudando efeitos de preparos do solo e rotação de culturas, também constatou menores teores de N foliar no

Quadro 3. Médias da altura de planta, altura de espiga e teor de N na folha, considerando a época e forma de aplicação da adubação nitrogenada no sistema plantio direto

Tratamento	Altura de planta	Altura de espiga	Teor de N na folha
	m		g kg ⁻¹
	Épocas de aplicação do N		
Semeadura	2,22 ab	1,21 ab	27,80 ab
15 dias após a emergência	2,29 a	1,26 a	28,10 a
35 dias após a emergência	2,11 b	1,10 b	24,80 b
20 dias antes da semeadura	2,13 b	1,17 ab	26,50 ab
Predominante na região	2,10 b	1,10 b	24,00 b
Padrão faz. experimental	2,30 a	1,25 a	28,70 a
	Formas de aplicação do N		
Incorporado na entrelinha	2,28 a	1,27 a	28,80 a
Superficial a lançaço	2,10 b	1,09 b	23,80 b

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5 %.

SPD. Isto certamente deveu-se à época de aplicação do N, podendo ter sido imobilizado. No presente caso, o solo utilizado estava com teor relativamente alto de MOS, para a média dos solos da região de cerrado (Ker et al., 1992; Sousa & Lobato, 2002), e, apesar de ter sido cultivado com soja no ano agrícola anterior, permaneceu com aveia preta na entressafra, a qual deve ter absorvido grande parte do N mineralizado dos resíduos da soja (Sá, 1993).

A altura de planta e espiga, e o teor de N na folha correlacionaram-se positiva e significativamente com a produtividade de grãos, com valores de r de 0,87**, 0,76* e 0,71*, respectivamente. Uma planta bem nutrida em N apresenta maior crescimento da área foliar e do sistema radicular, pois este nutriente influencia a divisão e expansão celular e fotossíntese, o que leva ao aumento da altura de plantas e, conseqüentemente, da altura de espiga (Büll, 1993; Varvel et al., 1997). O fato de a concentração de N na folha correlacionar-se com a produtividade é um indicativo de que o nutriente deve ser aplicado no local, época e doses adequadas, para se obter um melhor aproveitamento e, portanto, maiores produtividades de grãos.

CONCLUSÕES

1. A época e o modo de aplicação do N influenciaram a produtividade do milho, sendo os melhores resultados obtidos com a incorporação do fertilizante na semeadura ou aos 15 DAE.

2. O sistema de manejo da adubação nitrogenada predominantemente utilizado na região, 16 kg ha⁻¹ de N na semeadura + 90 kg ha⁻¹ em superfície aos 35 DAE, proporcionou menor produtividade de grãos de milho.

3. A aplicação do N em pré-semeadura do milho, 20 dias antes, demonstrou não ser recomendável para as condições edafoclimáticas estudadas.

AGRADECIMENTO

À Agropecuária Peeters, por ceder espaço físico, máquinas e implementos para desenvolvimento de pesquisa de campo.

LITERATURA CITADA

- AMADO, T.J.C. & MIELNICZUK, J. Estimativa da adubação nitrogenada para o milho em sistema de manejo e cultura de coberturas do solo. R. Bras. Ci. Solo, 24:553-560, 2000.
- AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J. & AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 26:241-248, 2002.
- ARGENTA, G. & SILVA, P.R.F. Adubação nitrogenada em milho implantado em semeadura direta após aveia preta. Ci. Rural, 29:745-754, 1999.
- BASSO, C.J. & CERETTA, C.A. Manejo do nitrogênio no milho em sucessão a plantas de cobertura no solo, sob plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 24:905-915, 2000.
- BORTOLINI, C.G.; SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G. & FORSTHOFER, E.L. Sistemas de aplicação de nitrogênio e seus efeitos sobre o acúmulo de N na planta de milho. R. Bras. Ci. Solo, 26:361-366, 2002.
- BÜLL, L.T. Nutrição mineral do milho. In: BÜLL, L.T. & CANTARELLA, H., eds. Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba, POTAFOS, 1993. p.63-146.
- CANTARELLA, H. Calagem e adubação do milho. In: BÜLL, L.T. & CANTARELLA, H., eds. Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba, POTAFOS, 1993. p.148-196.
- CERETTA, C.A.; BASSO, C.J.; DIEKOW, J.; AITA, C.; PAVINATO, P.S.; VIEIRA, F.C.B. & VENDRUSCLO, E.R.O. Nitrogen fertilizer split-application for corn in no-tillage succession to black oats. Sci. Agric., 59:549-554, 2002.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 1979. Não paginado.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 1999. 412p.
- FERNANDES, L.A.; FURTINI NETO, A.E.; VASCONCELLOS, C.A. & GUEDES, G.A.A. Preparo do solo e adubação nitrogenada na produtividade do milho em Latossolo sob vegetação de cerrado. R. Bras. Ci. Solo, 22:247-254, 1998.
- HEINZMANN, F.X. Resíduos culturais de inverno e assimilação de nitrogênio por culturas de verão. Pesq. Agropec. Bras., 20:1021-1030, 1985.
- HOWARD, D.D. & ESSINGTON, M.E. Effects of surface applied limestone on the efficiency of urea-containing nitrogen source for no-till corn. Agron. J., 90:523-528, 1998.
- KARLEN, D.L.; FLANNERY, R.L. & SADLER, E.J. Aerial accumulation and partitioning of nutrients by corn. Agron. J., 80:232-242, 1988.
- KER, J.C.; PEREIRA, N.R.; CARVALHO Jr., W. & CARVALHO FARIA, A. Cerrado: solos, aptidão e potencialidade agrícola. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO NO CERRADO, Goiânia, 1990. Anais. Campinas, Fundação Cargil, 1992. p.1-31.
- LARA CABEZAS, W.A.R.; KONDÔRFER, G.H. & MOTTA, S.A. Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: I efeito da irrigação e substituição parcial da uréia por sulfato de amônio. R. Bras. Ci. Solo, 21:481-487, 1997.
- LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O.; KORNODÔRF, G.H. & PEREIRA, S. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluida de cobertura na cultura do milho em sistema plantio direto no Triângulo Mineiro. R. Bras. Ci. Solo, 14:363-376, 2000.

- LOPES, S.A.; WIETHÖLTER, S.; GUILHERME, L.R.G. & SILVA, C.A. Sistema plantio direto: bases para o manejo da fertilidade do solo. São Paulo, Associação Nacional para Difusão de Adubos – ANDA, 2004. 110p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba, POTAFOS, 1997. 319p.
- MENGEL, D.B. & BARBER, S.A. Rate of nutrient uptake per unit of corn root under field conditions. *Agron. J.*, 66:399-402, 1974.
- MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 7:95-102, 1983.
- PÖTTKER, D. & ROMAN, E. Efeito dos resíduos de culturas e do pousio de inverno sobre resposta do milho a nitrogênio. *Pesq. Agropec. Bras.*, 29:763-770, 1994.
- SÁ, J.C.M. Manejo da fertilidade do solo no plantio direto. Castro, Aldeia Norte/Fundação ABC, 1993. 96p.
- SÁ, J.C.M. Manejo do nitrogênio na cultura do milho no sistema plantio direto. Passo Fundo, Aldeia Norte, 1996. 24p.
- SALET, R.L.; VARGAS, L.K.; ANGHINONI, I.; KOCHANN, R.A.; DENARDIN, J.E. & CONTI, E. Por que a disponibilidade de nitrogênio é menor no sistema plantio direto? In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 2., Passo Fundo, 1997, Anais. Passo Fundo, 1997. p.297.
- SANTOS, H.P. & PEREIRA, L.R. Efeito de sistemas de sucessão de cultura de inverno sobre algumas características agronômicas de milho em plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:1691-1694, 1994.
- SCHREIBER, H.A.; STANBERRY, C.O. & TUCKER, H. Irrigation and nitrogen effects on sweet corn row number at various growth stages. *Science*, 135:135-136, 1988.
- SCHRÖDER, J.J.; NEETESON, J.J.; OENEMA, O. & STRUIK, P.C. Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production? Reviewing the state of the art. *Field Crop Res.*, 66:151-154, 2000.
- SILVA, E.C.; SILVA, S.C.; BUZETTI, S.; TARSITANO, M.A.A. & LAZARINI, E. Análise econômica do estudo de níveis e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura de milho no sistema plantio direto em solo de cerrados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO RURAL, 5., Goiânia, 2001. Anais. Goiânia, ABAR, 2001. CD-ROM.
- SOUSA, D.M.G. & LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação. Planaltina, Embrapa Cerrados, 2002. 416p.
- VARVEL, G.E.; SCHPERS, J.S. & FRANCIS, D.D. Ability for in-season correction of nitrogen deficiency in corn using chlorophyll meters. *Soil Sci. Am. J.*, 61:1233-1239, 1997.
- YAMADA, T. Adubação nitrogenada do milho: quanto, como e quando aplicar. Piracicaba, Potafos, 1996. 5p. (Informações Agronômicas, 74)