

Adubação nitrogenada em cobertura para o milho cultivado após aveia preta no sistema plantio direto

João Manoel Santos de Oliveira¹ e Eduardo Fávero Caires^{2*}

¹Secretaria da Agricultura de São Paulo, R. Major E. Cunha, nº 312, 18185-000, Pilar do Sul, São Paulo, Brasil. ²Departamento de Ciência do Solo e Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Ponta Grossa. Av. Gen. Carlos Cavalcanti, nº 4748, 84030-900, Ponta Grossa, Paraná, Brasil. *Autor para correspondência. e-mail: efcaires@uepg.br

RESUMO. O trabalho foi realizado em um Latossolo Vermelho Distrófico textura média, em Tibagi, Estado do Paraná, com o objetivo de verificar se a uréia aplicada na superfície do solo influencia o desenvolvimento e a produção de milho, em decorrência de perdas de N-NH₃ por volatilização, e se a substituição parcial ou total da uréia por sulfato de amônio aumenta a eficiência da adubação nitrogenada em cobertura, sem incorporação. O delineamento experimental empregado foi o de blocos completos ao acaso em parcelas subdivididas, com três repetições. As parcelas receberam quatro doses de N em cobertura (30, 60, 90 e 120kg ha⁻¹), e nas subparcelas foram utilizados quatro modos de aplicação de fontes nitrogenadas (uréia na superfície, uréia incorporada, sulfato de amônio na superfície e uréia + sulfato de amônio na superfície). As doses de N aumentaram linearmente a produção de milho, o número de grãos por espiga e a massa de espigas por planta, de grãos por espiga e de 1.000 grãos. A uréia na superfície, ou com incorporação, e o sulfato de amônio na superfície tiveram comportamento semelhante na nutrição e na produção de milho.

Palavras-chave: *Zea mays* L., uréia, sulfato de amônio, nitrogênio.

ABSTRACT. Nitrogen fertilization as top dressing for the corn following black oats under a no-tillage system. A field experiment was carried out on a red dystrophic loam oxisol from Tibagi, Paraná State, Brazil, to assessing whether surface-applied urea affects corn development and yield as a result of N-NH₃ losses by volatilization, and whether the partial or full replacement of urea by ammonium sulfate increases the effectiveness of nitrogen fertilization as sidedressing, without incorporation. A randomized complete block design was used, with three replications, in a split-plot experiment. The plots received four rates of N applied as top dressing: 30, 60, 90 and 120kg ha⁻¹. The subplots were constituted by four application forms: surface-applied urea, incorporated urea, surface-applied ammonium sulfate and surface-applied urea + ammonium sulfate. The N rates led to a linear increase in corn yield, number of grains per ear, ear weight per plant, grain weight per ear, and weight of 1000 grains. Urea, surface-applied or incorporated, and surface-applied ammonium sulfate performed similarly in nutrition and corn grain yield.

Key words: *Zea mays* L., urea, ammonium sulfate, nitrogen.

Introdução

No sistema plantio direto, existe grande preocupação em elevar a disponibilidade de N no início de desenvolvimento do milho, porque, em muitos casos, o seu cultivo é realizado em sucessão a gramíneas. Isso pode significar comprometimento da quantidade de N disponível para o milho, pois a imobilização de N mineral pela biomassa microbiana reduz a disponibilidade de N no solo.

A adubação nitrogenada em cobertura para o milho cultivado em sistema plantio direto é feita,

principalmente, utilizando uréia na superfície do solo, porque a uréia constitui-se em uma das fontes mais vantajosas, considerando o custo por unidade de N. Entre os mecanismos de transformação do N-uréia aplicado ao solo, a volatilização da amônia é um dos que mais contribuem para a baixa recuperação de N pelo milho (Ernst e Massey, 1960; Villas Boas *et al.*, 1993; Lara Cabezas *et al.*, 1997a,b). Apesar das expressivas perdas de N-NH₃ por volatilização com a aplicação de uréia na superfície (Martin e Chapman, 1951; Bouwmeester *et al.*, 1985;

Rodrigues e Kiehl, 1986; Lara Cabezas *et al.*, 1997a,b), existem dúvidas a respeito dos reflexos de tais perdas de N sobre a produção de milho.

A uréia, ao ser aplicada ao solo, sofre hidrólise enzimática, produzindo carbonato de amônio $[(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3]$ que se desdobra em NH_3 , CO_2 e água. Um dos fatores que exercem influência no aumento das perdas de amônia por volatilização é o aumento do pH até 8,7, aproximadamente, na região de aplicação da uréia, logo após a hidrólise, o que dificulta a transformação do gás amônia em um íon mais estável (NH_4^+) (Rodrigues e Kiehl, 1992). Outro fator que interfere nas perdas de N- NH_3 por volatilização da uréia aplicada na superfície é a umidade do solo. Em solo úmido, próximo à capacidade de campo, as perdas de amônia acompanham o processo de evaporação da água (Martin e Chapman, 1951; Bouwmeester *et al.*, 1985). Em solo seco, as perdas podem ser significativas somente se a umidade relativa do ar for alta (Black *et al.*, 1987). As perdas por volatilização de amônia podem ser controladas pela adição de ácidos (H_3PO_4 , H_2SO_4 e HNO_3), sais (de cálcio, magnésio e potássio) e inibidores da urease (Buresh *et al.*, 1984; Hargrove, 1988). A incorporação de uréia no solo a 5-7 cm de profundidade também mostrou ser uma prática efetiva na diminuição das perdas de N- NH_3 por volatilização (Villas Boas *et al.*, 1993; Lara Cabezas *et al.*, 1997b). A questão é definir, em termos técnicos e econômicos, a melhor forma de aplicar a uréia, superficial ou incorporada.

Considerando que a uréia aplicada na superfície do solo proporciona uma baixa eficiência de aproveitamento de N pelo milho, em decorrência de perdas por volatilização de amônia, é possível que a sua substituição parcial ou total por sulfato de amônio aumente a eficiência da adubação nitrogenada em cobertura, contribuindo para que os ganhos em produtividade ocorram em doses menores de N aplicado. O presente trabalho foi realizado com objetivo de verificar essa possibilidade, mediante avaliação da produtividade e de componentes de produção de milho em função de doses e modos de aplicação de fontes de N em cobertura no sistema plantio direto.

Material e métodos

O experimento foi realizado no município de Tibagi, Estado do Paraná, em um Latossolo Vermelho distrófico textura média, manejado há dez anos no sistema plantio direto. Análises químicas do solo (Pavan *et al.*, 1992), da camada de 0-20 cm, realizadas antes da instalação do experimento, revelaram os seguintes resultados: pH (CaCl_2 0,01

mol.L^{-1}) 4,9; $77,6\text{mmol.L}^{-1}$ de $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$; 1mmol.L^{-1} de Al^{3+} ; 59mmol.L^{-1} de Ca^{2+} ; 40mmol.L^{-1} de Mg^{2+} ; $4,3\text{mmol.L}^{-1}$ de K^+ ; $8,5\text{mg dm}^{-3}$ de P (Mehlich-1); 23g dm^{-3} de C-orgânico e 57% de saturação por bases.

O clima da região é classificado, de acordo com o sistema de Köppen, como Cfb (subtropical úmido mesotérmico), com geadas freqüentes na estação de inverno, e verão ameno, com temperatura média do ar de 22°C , precipitação pluvial média anual de 1420mm e umidade relativa em torno de 75%.

O delineamento experimental empregado foi o de blocos completos ao acaso em parcelas subdivididas, com três repetições. As parcelas foram constituídas por cinco linhas de milho de 24m de comprimento, divididas em quatro subparcelas de 6 m de comprimento. Nas parcelas, foram aplicadas quatro doses de N em cobertura: 30, 60, 90 e 120kg ha^{-1} ; nas subparcelas, foram utilizados quatro modos de aplicação de fontes nitrogenadas: uréia na superfície (US), uréia incorporada a 5-7 cm (UI), sulfato de amônio na superfície (SAS) e uréia + sulfato de amônio na superfície (US+SAS). As aplicações foram realizadas manualmente, logo após a emissão da quarta folha totalmente expandida, ao lado da linha de semeadura (15 cm). Para o tratamento US+SAS, metade da dose foi aplicada na forma de uréia, após a emissão da quarta folha, e a outra metade na forma de sulfato de amônio, após a emissão da oitava folha.

O milho híbrido Cargill 909, de ciclo superprecoce, foi semeado mecanicamente em 15 de setembro de 1999, após o cultivo de aveia preta, na densidade de cinco sementes por metro linear e espaçamento de 0,85 m entre as linhas. A adubação de base utilizada na semeadura foi de 310kg ha^{-1} da fórmula 8-28-16 (N- P_2O_5 - K_2O). Os dados diários de precipitação pluvial e de temperatura média do ar, ocorridas durante o desenvolvimento da cultura no campo, encontram-se na Figura 1.

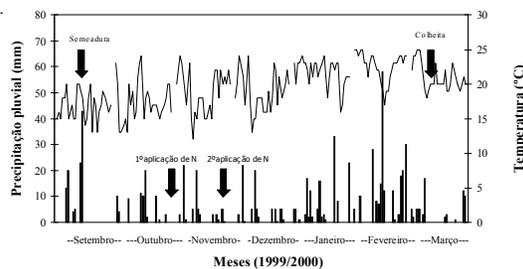


Figura 1. Dados diários de precipitação pluvial (em barras) e de temperatura média do ar no período de 01/09/1999 a 31/03/2000

Amostras de folhas foram coletadas de 10 plantas, ao acaso, de cada subparcela, por ocasião do

florescimento pleno, retirando-se a folha imediatamente abaixo e oposta à espiga. As folhas coletadas foram cortadas em suas extremidades, utilizando-se apenas o seu terço médio, lavadas em água desionizada, colocadas para secar em estufa com circulação forçada de ar a 60°C e, posteriormente, moídas. Foram analisados os teores de N, P, K, Ca, Mg e S, de acordo com os métodos descritos em Malavolta *et al.* (1997).

Na época da colheita, foram retiradas 10 plantas, ao acaso, dentro de cada subparcela para avaliações da altura da planta e de componentes de produção. Essas avaliações foram realizadas nas três linhas centrais de cada subparcela, desprezando-se um metro de cada extremidade. Foram feitas as seguintes determinações: altura da planta e da inserção da espiga, número e massa de espigas por planta, número e massa de grãos por espiga, número de fileiras por espiga e massa de 1.000 grãos.

Após a maturação, o milho foi colhido manualmente e trilhado, sendo então determinada a produção de grãos a 130g kg⁻¹ de umidade. Foram colhidas as três linhas centrais por quatro metros de comprimento de cada subparcela, sendo desprezado um metro de cada extremidade.

Os resultados foram submetidos às análises de variância e de regressão. Na ausência de significância da interação entre doses e modos de aplicação de N sobre as variáveis estudadas, os efeitos principais das doses de N e dos modos de aplicação foram avaliados, separadamente, pelas médias das observações, pelas análises de regressão e pelo teste de Tukey, respectivamente, ao nível de 5%.

Resultados e discussão

As doses de N aumentaram linearmente a produção de milho, independentemente dos modos de aplicação das fontes nitrogenadas, que não influenciaram a produção de grãos (Tabela 1). O aumento médio na produção foi de 15,59kg de grãos para cada kg de N aplicado em cobertura. Essa alta resposta do milho às doses de N aplicadas em cobertura pode estar relacionada ao seu cultivo ter sido efetuado após a aveia preta (relação C:N alta) e também à ocorrência de precipitação pluvial relativamente baixa nesse ano agrícola (Figura 1). Resíduos de culturas anteriores influenciam a resposta do milho à adubação nitrogenada. Muzilli *et al.* (1983) não obtiveram resposta de vários híbridos de milho à aplicação de N em área ocupada no inverno por tremoço. Derpsch *et al.* (1985) estimaram em 60 a 90kg ha⁻¹ de N a contribuição de algumas leguminosas cultivadas como adubo verde no inverno. É importante ressaltar que a adubação

nitrogenada de cobertura aumentou de forma linear a produção de milho até a dose de 120kg ha⁻¹ de N, em solo manejado há dez anos no sistema plantio direto e com alto teor de C-orgânico (23g dm⁻³). De acordo com Sá (1996), o aumento do teor de C-orgânico no solo, em função do tempo de adoção do plantio direto, proporciona maior liberação de N ao sistema, reduzindo a necessidade de adubação nitrogenada, fato que não foi evidenciado no presente trabalho. Portanto, a resposta do milho cultivado em plantio direto à adubação nitrogenada parece ser muito mais influenciada pela cultura antecessora e pelas condições de clima do que pelo tempo de adoção desse sistema de manejo do solo.

Tabela 1. Produção de grãos de milho em função de doses e modos de aplicação de fontes de nitrogênio em cobertura no sistema plantio direto

Doses de N kg ha ⁻¹	Modos de aplicação de fontes de N				Média
	US ⁽¹⁾	UI ⁽²⁾	SAS ⁽³⁾	US+SAS ⁽⁴⁾	
	----- kg ha ⁻¹ -----				
30	7011	7010	7098	6103	6805
60	7932	8019	7427	8405	7946
90	7588	8468	7812	7891	7940
120	8101	8571	8530	8264	8366
Média	7658	8017	7717	7666	
F dose	6,42*		Ŷ = 6595,00 + 15,59x		
C.V. dose (%)	11,8		R ² = 0,81**		
F modo	0,64 ^{ns}				
C.V. modo (%)	9,5				
F dose x modo	0,84 ^{ns}				

⁽¹⁾Uréia em superfície na emissão da quarta folha. ⁽²⁾Uréia incorporada no solo na emissão da quarta folha. ⁽³⁾Sulfato de amônio em superfície na emissão da quarta folha. ⁽⁴⁾Metade da dose na forma de uréia em superfície na emissão da quarta folha e a outra metade na forma de sulfato de amônio em superfície na emissão da oitava folha. ns: não significativo, *: significativo p < 0,05 e **: significativo p < 0,01

Apesar de não ter ocorrido efeito significativo da interação entre doses e modos de aplicação de fontes de N na produção de milho, nota-se que a uréia incorporada e o sulfato de amônio na superfície proporcionaram ganhos na produção de grãos que variaram de 2 a 12% em comparação à uréia na superfície (Tabela 1), para as maiores doses de N aplicadas (90 e 120kg ha⁻¹). Apesar das grandes perdas de N-NH₃ por volatilização que ocorrem com a aplicação de uréia na superfície em sistema plantio direto, da ordem de até 78% do N aplicado (Lara Cabezas *et al.*, 1997b), a redução na produção de milho com a aplicação superficial de uréia tem sido pouco expressiva.

Em quatro experimentos conduzidos no campo, observou-se que a uréia aplicada na superfície do solo só reduziu significativamente a produção de grãos de milho (15%) em um caso, em relação à uréia incorporada. Isso ocorreu em um ano em que houve um período de estiagem de 10 dias após a adubação de cobertura, ao contrário dos outros experimentos, nos quais houve ocorrência de chuvas entre dois e quatro dias após a aplicação da uréia

(Cantarella *et al.*, 1988, citados por Cantarella, 1993). Esses resultados sugerem que, em condições de campo, a precipitação pluvial desempenha um papel importante para incorporar a uréia ao solo e evitar perdas de N-NH₃ por volatilização. Bounwmeester *et al.* (1985) verificaram que 24mm de precipitação pluvial logo após a aplicação de uréia na superfície foram suficientes para evitar perdas de N-NH₃ por volatilização, ao passo que 8mm não foram suficientes. Mesmo assim, Lara Cabezas *et al.* (1997a) observaram que a irrigação de 28mm efetuada após a adubação nitrogenada de cobertura não foi efetiva em inibir a volatilização de N-NH₃ hidrolisada da uréia. A queda relativamente pequena na produção de milho, com a aplicação de uréia na superfície, tem sido relacionada com a capacidade de solos de alta fertilidade em suprir a cultura com maior quantidade de N nativo, minimizando o efeito do N volatilizado na queda de produção (Lara Cabezas *et al.*, 1997a, b). Segundo Jansson e Persson (1982), citados por Lara Cabezas *et al.* (1997a), a aplicação de adubos nitrogenados estimulando o "priming effect", o desenvolvimento radicular e a dinâmica do processo mineralização-imobilização no solo estariam contribuindo para maior recuperação do N nativo do solo pela planta. Nesse sentido, o tratamento que recebeu apenas 30kg ha⁻¹ de N em cobertura apresentou uma produtividade média bem razoável (6805kg ha⁻¹ de grãos).

As plantas de milho apresentaram, em média, uma espiga por planta e 14 fileiras por espiga, independentemente dos tratamentos empregados. O número de grãos por espiga não foi influenciado pelos modos de aplicação das fontes nitrogenadas (Tabela 2). Apesar do teste F não ter revelado efeito significativo de doses de N sobre o número de grãos por espiga, constatou-se, pela análise de regressão, um aumento linear do número de grãos por espiga com as doses de N aplicadas em cobertura. Sangoi e Almeida (1994) verificaram que o número de espigas por planta e o número de grãos por espiga de milho aumentaram com aplicação de até 50kg ha⁻¹ de N; acima dessa dose, não houve incremento nesses componentes, o que contribuiu para que a produção de grãos não mais aumentasse. Em outros trabalhos (Balko e Russel, 1980; Ebelhar *et al.*, 1987), foi observado que o aumento na produtividade de milho, proporcionado pelo N, esteve relacionado aos seus efeitos no aumento do crescimento da raiz, do comprimento da espiga e do número de espigas por planta. Cabe ressaltar que a deficiência de N em milho, quando a planta se apresenta com altura em torno de 20 cm, pode resultar em redução no número de grãos nos primórdios da

espiga, causando reflexos sobre a produção de grãos (Schreiber *et al.*, 1962).

Tabela 2. Número de grãos por espiga de milho em função de doses e modos de aplicação de fontes de nitrogênio em cobertura no sistema plantio direto

Doses de N kg ha ⁻¹	Modos de aplicação de fontes de N				Média
	US ⁽¹⁾	UI ⁽²⁾	SAS ⁽³⁾	US+SAS ⁽⁴⁾	
30	487	533	501	493	504
60	517	515	535	543	528
90	518	532	517	508	519
120	519	536	546	530	533
Média	510	529	525	519	
F dose	2,21 ^{ns}				Ŷ = 501,50 + 0,26x R ² = 0,63*
C.V. dose (%)	5,7				
F modo	1,05 ^{ns}				
C.V. modo (%)	5,3				
F dose x modo	0,73 ^{ns}				

⁽¹⁾Uréia em superfície na emissão da quarta folha. ⁽²⁾Uréia incorporada no solo na emissão da quarta folha. ⁽³⁾Sulfato de amônio em superfície na emissão da quarta folha. ⁽⁴⁾Metade da dose na forma de uréia em superfície na emissão da quarta folha e a outra metade na forma de sulfato de amônio em superfície na emissão da oitava folha. ns: não significativo e *: significativo p < 0,05

A massa de espigas por planta (Tabela 3) e a massa de grãos por espiga (Tabela 4) não foram alteradas pelos modos de aplicação das fontes de N, mas foram influenciadas pelas doses aplicadas. De acordo com as equações de regressão ajustadas, houve aumento linear da massa de espigas por planta (Tabela 3) e da massa de grãos por espiga (Tabela 4), considerando as doses de N em cobertura.

Os modos de aplicação das fontes de N não influenciaram a massa de 1.000 grãos (Tabela 5). O teste F também não mostrou efeito significativo de doses de N sobre a massa de 1.000 grãos, mas a análise de regressão revelou aumento linear na massa de 1.000 grãos com as doses de N aplicadas. Em outros trabalhos, também foi observado aumento na massa de 1.000 grãos de milho, em função de doses de N (Medeiros e Silva, 1983; Sangoi e Almeida, 1994).

Tabela 3. Massa de espigas por planta de milho em função de doses e modos de aplicação de fontes de nitrogênio em cobertura no sistema plantio direto

Doses de N kg ha ⁻¹	Modos de aplicação de fontes de N				Média
	US ⁽¹⁾	UI ⁽²⁾	SAS ⁽³⁾	US+SAS ⁽⁴⁾	
	----- g -----				
30	235	255	245	255	247
60	247	268	248	277	269
90	264	295	300	294	288
120	302	293	300	325	305
Média	262	278	282	287	
F dose	8,75*				Ŷ = 207,50 + 0,73x R ² = 0,93**
C.V. dose (%)	10,5				
F modo	2,25 ^{ns}				
C.V. modo (%)	9,2				
F dose x modo	0,50 ^{ns}				

⁽¹⁾Uréia em superfície na emissão da quarta folha. ⁽²⁾Uréia incorporada no solo na emissão da quarta folha. ⁽³⁾Sulfato de amônio em superfície na emissão da quarta folha. ⁽⁴⁾Metade da dose na forma de uréia em superfície na emissão da quarta folha e a outra metade na forma de sulfato de amônio em superfície na emissão da oitava folha. ns: não significativo, *: significativo p < 0,05 e **: significativo p < 0,01

Tabela 4. Massa de grãos por espiga de milho em função de doses e modos de aplicação de fontes de nitrogênio em cobertura no sistema plantio direto

Doses de N kg ha ⁻¹	Modos de aplicação de fontes de N				Média
	US ⁽¹⁾	UI ⁽²⁾	SAS ⁽³⁾	US+SAS ⁽⁴⁾	
	----- g -----				
30	177	190	178	183	182
60	183	192	206	198	195
90	198	217	209	197	205
120	216	219	220	216	218
Média	194	204	204	198	
F dose	9,95*		$\hat{Y} = 176,50 + 0,37x$		
C.V. dose (%)	8,5		$R^2 = 0,85^{**}$		
F modo	1,36 ^{ns}				
C.V. modo (%)	7,4				
F dose x modo	0,56 ^{ns}				

⁽¹⁾Uréia em superfície na emissão da quarta folha. ⁽²⁾Uréia incorporada no solo na emissão da quarta folha. ⁽³⁾Sulfato de amônio em superfície na emissão da quarta folha. ⁽⁴⁾Metade da dose na forma de uréia em superfície na emissão da quarta folha e a outra metade na forma de sulfato de amônio em superfície na emissão da oitava folha. ns: não significativo, *: significativo p < 0,05 e **: significativo p < 0,01

Tabela 5. Massa de 1.000 grãos de milho em função de doses e modos de aplicação de fontes de nitrogênio em cobertura no sistema plantio direto

Doses de N kg ha ⁻¹	Modos de aplicação de fontes de N				Média
	US ⁽¹⁾	UI ⁽²⁾	SAS ⁽³⁾	US+SAS ⁽⁴⁾	
	----- g -----				
30	360	360	360	360	360
60	360	370	370	360	365
90	360	390	380	370	370
120	390	360	380	370	380
Média	370	370	370	370	
F dose	3,93 ^{ns}		$\hat{Y} = 356,00 + 0,20x$		
C.V. dose (%)	3,7		$R^2 = 0,92^{**}$		
F modo	0,36 ^{ns}				
C.V. modo (%)	4,3				
F dose x modo	0,98 ^{ns}				

⁽¹⁾Uréia em superfície na emissão da quarta folha. ⁽²⁾Uréia incorporada no solo na emissão da quarta folha. ⁽³⁾Sulfato de amônio em superfície na emissão da quarta folha. ⁽⁴⁾Metade da dose na forma de uréia em superfície na emissão da quarta folha e a outra metade na forma de sulfato de amônio em superfície na emissão da oitava folha. ns: não significativo e **: significativo p < 0,01

O aumento na produção de grãos de milho, considerando as doses de N aplicadas (Tabela 1), foi ocasionado pelo aumento do número de grãos por espiga (Tabela 2) e da massa de 1.000 grãos (Tabela 5), o que resultou em aumento na massa de espigas por planta (Tabela 3) e de grãos por espiga (Tabela 4). O N é um componente importante de aminoácidos que fazem parte da estrutura das proteínas (Butzen e Cummings, 1999). O teor de proteínas nos grãos de milho aumenta com a aplicação de N de maneira semelhante à produtividade (Obreza e Rhoads, 1988; Butzen e Cummings, 1999).

A altura da planta de milho (Tabela 6) e a altura de inserção da espiga (Tabela 7) não foram influenciadas pelas doses e modos de aplicação das fontes de N, mostrando que o crescimento da planta não foi alterado com a adubação nitrogenada. Segundo Arnon (1975), a deficiência de N retarda a divisão celular nos pontos de crescimento do milho,

resultando em redução na área foliar e no tamanho da planta, com reflexos negativos sobre a produção de grãos. No presente trabalho, não houve falta de N a ponto de afetar o crescimento da planta. Sangoi e Almeida (1994), em dois experimentos conduzidos no município de Lages, Estado de Santa Catarina, também não observaram efeito significativo da aplicação de N sobre a altura da planta de milho e da inserção da espiga.

Tabela 6. Altura de plantas de milho em função de doses e modos de aplicação de fontes de nitrogênio em cobertura no sistema plantio direto

Doses de N kg ha ⁻¹	Modos de aplicação de fontes de N				Média
	US ⁽¹⁾	UI ⁽²⁾	SAS ⁽³⁾	US+SAS ⁽⁴⁾	
	----- m -----				
30	2,06	2,04	2,02	1,98	2,03
60	1,94	2,02	1,97	1,99	1,98
90	2,00	2,04	2,04	2,01	2,02
120	1,98	1,93	1,96	1,98	1,96
Média	2,00	2,00	2,00	2,00	
F dose	0,88 ^{ns}		$\hat{Y} = \bar{Y} = 2,00$		
C.V. dose (%)	6,3				
F modo	0,07 ^{ns}				
C.V. modo (%)	3,9				
F dose x modo	0,72 ^{ns}				

⁽¹⁾Uréia em superfície na emissão da quarta folha. ⁽²⁾Uréia incorporada no solo na emissão da quarta folha. ⁽³⁾Sulfato de amônio em superfície na emissão da quarta folha. ⁽⁴⁾Metade da dose na forma de uréia em superfície na emissão da quarta folha e a outra metade na forma de sulfato de amônio em superfície na emissão da oitava folha. ns: não significativo

Tabela 7. Altura de inserção da espiga de milho em função de doses e modos de aplicação de fontes de nitrogênio em cobertura no sistema plantio direto

Doses de N kg ha ⁻¹	Modos de aplicação de fontes de N				Média
	US ⁽¹⁾	UI ⁽²⁾	SAS ⁽³⁾	US+SAS ⁽⁴⁾	
	----- m -----				
30	0,91	0,91	0,92	0,86	0,90
60	0,89	0,91	0,90	0,93	0,91
90	0,94	0,95	0,97	0,93	0,95
120	0,91	0,93	0,91	0,93	0,92
Média	0,91	0,92	0,93	0,91	
F dose	0,58 ^{ns}		$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,92$		
C.V. dose (%)	10,3				
F modo	0,25 ^{ns}				
C.V. modo (%)	4,8				
F dose x modo	0,66 ^{ns}				

⁽¹⁾Uréia em superfície na emissão da quarta folha. ⁽²⁾Uréia incorporada no solo na emissão da quarta folha. ⁽³⁾Sulfato de amônio em superfície na emissão da quarta folha. ⁽⁴⁾Metade da dose na forma de uréia em superfície na emissão da quarta folha e a outra metade na forma de sulfato de amônio em superfície na emissão da oitava folha. ns: não significativo

Os teores de N e P no tecido foliar do milho foram aumentados linearmente com as doses de N em cobertura, enquanto os modos de aplicação das fontes nitrogenadas não influenciaram significativamente a concentração de nutrientes nas folhas de milho (Tabela 8). Efeitos positivos da interação entre N e P sobre a produção de grãos de milho têm sido relatados, principalmente quando a adubação nitrogenada é feita na forma amoniacal,

proporcionando incrementos na absorção de P (Gamboa, 1980). Esses efeitos podem ser atribuídos ao fato de elevadas concentrações de N, na zona de absorção, condicionarem as raízes a aumentar a absorção e a translocação de P (Thien e McFee, 1970). Terman e Noggle (1973) observaram influência do N no aumento da absorção de P pelo milho, mesmo em solos com altos teores de P. Tanto a uréia, na superfície ou com incorporação, como o sulfato de amônio, na superfície, comportaram-se de forma semelhante quanto ao aproveitamento de N pelo milho. A utilização de sulfato de amônio não alterou a concentração de S no tecido foliar, mostrando que os teores de S-SO₄²⁻ disponíveis no solo eram suficientes para atender a demanda da planta.

Tabela 8. Concentração de nutrientes nas folhas de milho em função de doses e modos de aplicação de fontes de nitrogênio em cobertura no sistema plantio direto

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
 g kg ⁻¹					
Doses de N, kg ha ⁻¹						
30	22,1	3,7	21,9	5,4	3,6	1,7
60	22,5	3,9	23,5	5,1	3,4	1,7
90	23,7	4,0	22,7	5,8	4,0	1,7
120	26,2	4,3	21,7	5,7	3,8	2,0
Efeito	L**	L**	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	13,6	5,7	8,3	12,3	19,3	22,4
Modos de aplicação de fontes de N						
US ⁽¹⁾	23,0	3,9	22,1	5,5	3,7	1,7
UI ⁽²⁾	24,4	4,0	23,0	5,5	3,6	1,7
SAS ⁽³⁾	23,0	4,0	23,0	5,4	3,6	1,8
US+SAS ⁽⁴⁾	24,2	4,1	22,0	5,6	3,8	1,8
Valor F	0,67 ^{ns}	1,15 ^{ns}	1,16 ^{ns}	1,07 ^{ns}	1,14 ^{ns}	0,85 ^{ns}
C.V. (%)	13,0	5,0	7,6	6,0	7,0	11,0

⁽¹⁾Uréia em superfície na emissão da quarta folha. ⁽²⁾Uréia incorporada no solo na emissão da quarta folha. ⁽³⁾Sulfato de amônio em superfície na emissão da quarta folha. ⁽⁴⁾Metade da dose na forma de uréia em superfície na emissão da quarta folha e a outra metade na forma de sulfato de amônio em superfície na emissão da oitava folha. L: efeito linear por análise de regressão. ns: não significativo e **: significativo p < 0,01

Conclusão

A adubação nitrogenada em cobertura aumentou linearmente a produção de milho até a dose de 120kg ha⁻¹ de N, mostrando que para a obtenção de altas produtividades de milho, após o cultivo de aveia preta, no sistema plantio direto, é necessário o suprimento de doses elevadas de N.

O aumento na produção de milho, em função da adubação nitrogenada em cobertura, esteve relacionado com o aumento do número de grãos por espiga e da massa de 1.000 grãos.

A uréia, aplicada na superfície ou com incorporação, e o sulfato de amônio, aplicado na superfície, tiveram comportamento semelhante na nutrição e na produção de milho.

Referências

- ARNON, I. *Mineral nutrition of maize*. Bern: International Potash Institute, 1975.
- BALCO, L.G.; RUSSEL, W.A. Response of maize inbred lines to N fertilizer. *Agron. J.*, Madison, v.72, n.5, p.723-732, 1980.
- BLACK, A.S. *et al.* Effect of timing of simulated rainfall on ammonia volatilization from urea, applied to soil of varying moisture content. *J. Soil Sci.*, Oxford, v.38, p.679-687, 1987.
- BOUWMEESTER, R.J.B. *et al.* Effect of environmental factors on ammonia volatilization from a urea-fertilized soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v.49, p.367-381, 1985.
- BURESH, R.J. *et al.* Labeled nitrogen fertilizer research with urea in the semi-arid tropic. I. Greenhouse studies. *Plant Soil*, The Hague, v.80, p.3-19, 1984.
- BUTZEN, S.; CUMMINGS, M. Environmental effects on protein content in conventional and high oil corn grain. *Crop Insights*, v.9 n.11, 1999. Disponível em: <http://www.pioneer.com/usa/crop>. Acesso em 11 set. 2001.
- CANTARELLA, H. Calagem e adubação do milho. In: BÜLL, L. T.; CANTARELLA, H. (Ed.). *Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba: Potafos, 1993. p.147-196.
- DERPSCH, R. *et al.* Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. *Pesq. Agropecu. Bras.*, Brasília, v.20, p.761-773, 1985.
- EBELHAR, S.A. *et al.* Effects of nitrogen and potassium on growth and cation composition of corn genotypes differing in average ear number. *Agron. J.*, Madison, v.79, n.5, p.875-881, 1987.
- ERNST, J.W.; MASSEY, H.F. The effects of several factors on volatilization of ammonia formed from urea in the soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, v.24, p.87-90, 1960.
- GAMBOA, A. *La fertilización del maíz*. Berna: Instituto Internacional de la Potassa, 1980.
- HARGROVE, W. L. Soil, environmental and management factors influencing ammonia volatilization under field conditions. In: BOCK, B.R.; KISSEL, D.E., (Ed.). *Ammonia volatilization from urea fertilizers*. Alabama: National Fertilizer Development Center, 1988. p.17-36.
- LARA CABEZAS, W.A.R. *et al.* Volatilização de N-NH₃ na cultura do milho: I. Efeito da irrigação e substituição parcial da uréia por sulfato de amônio. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v.21, n.3, p.481-487, 1997a.
- LARA CABEZAS, W.A.R. *et al.* Volatilização de N-NH₃ na cultura do milho: II. Avaliação de fontes sólidas e fluídas em sistema de plantio direto e convencional. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v.21, n.3, p.489-496, 1997b.
- MALAVOLTA, E. *et al.* *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 1997.
- MARTIN, J.P.; CHAPMAN, H.D. Volatilization of ammonia from surface fertilized soils. *Soil Sci.*, Baltimore, v.71, p.25-34, 1951.

- MEDEIROS, J.S.; SILVA, P.R.F. da. Efeitos de níveis de nitrogênio e densidade de plantas sobre o rendimento de grãos e outras características agrônômicas de duas cultivares de milho. *Agronomia Sul Rio Grandense*, Porto Alegre, v.11, n.2, p.227-249, 1983.
- MUZILLI, O *et al.* Adubação nitrogenada em milho no Paraná. III. Influência da recuperação do solo com adubação verde no inverno nas respostas à adubação nitrogenada. *Pesq. Agropecu. Bras.*, Brasília, v.18, p.23-27, 1983.
- OBREZA, T.A.; RHOADS, F.M. Irrigated corn response to soil-test indices and fertilizer nitrogen, phosphorus, potassium and magnesium. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v.52, p.701-706, 1988.
- PAVAN, M. A *et al.* *Manual de análise química do solo e controle de qualidade*. Londrina, Instituto Agronômico do Paraná, 1992. 38 p. (Circular, 76)
- RODRIGUES, M.B., KIEHL, J.C. Volatilização de uréia em diferentes doses e modos de aplicação. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v.10, p.37-43, 1986.
- RODRIGUES, M.B., KIEHL, J.C. Distribuição e nitrificação da amônia proveniente da uréia aplicada ao solo. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v.16, p.403-408, 1992.
- SÁ, J.C.M. *Manejo do nitrogênio na cultura do milho no sistema plantio direto*. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1996.
- SANGOI, L.; ALMEIDA, M.L. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio para a cultura do milho num solo com alto teor de matéria orgânica. *Pesq. Agropecu. Bras.*, Brasília, v.29, n.1, p.20-22, 1994.
- SCHREIBER, H.A. *et al.* Irrigation and nitrogen effects on sweet corn row numbers at various growth stages. *Soil Sci.*, Baltimore, v.135, n.1, p.135-136, 1962.
- TERMAN, G.L.; NOGGLE, J.C. Nutrient changes in corn as affected by dry matter accumulation with age and response to applied nutrients. *Agron. J.*, Madison, v.65, p.941-945, 1973.
- THIEN, S.J.; McFEE, W.W. Influence of nitrogen on phosphorus absorption and translocation in *Zea mays*. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, v.34, p.87-90, 1970.
- VILLAS BOAS, R.L. *et al.* Efeito da uréia, do sulfato de amônio e da mistura de ambos na recuperação de N pelo milho (*Zea mays* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24., 1993, Goiânia. *Anais...* Goiânia: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. v.2, p.37-38.

Received on October 10, 2002.

Accepted on August 06, 2003.