

VOLATILIZAÇÃO DE N-NH₃ NA CULTURA DE MILHO: II. AVALIAÇÃO DE FONTES SÓLIDAS E FLUIDAS EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO E CONVENCIONAL⁽¹⁾

W.A.R. LARA CABEZAS⁽²⁾, G.H. KORNDORFER⁽³⁾ & S.A. MOTTA⁽⁴⁾

RESUMO

Foram desenvolvidos dois experimentos em campo, em sistema de plantio direto (SPD) sobre cobertura de aveia-preta, em latossolo vermelho-escuro, distrófico, argiloso, e em sistema de plantio convencional (SPC), após cultivo de soja, em latossolo vermelho-amarelo distrófico arenoso, no Centro de Pesquisa Novartis-Seeds e na Fazenda St^a. Teresinha, Uberlândia (MG) respectivamente. O estudo objetivou avaliar as perdas por volatilização de N-NH₃ da cobertura nitrogenada na cultura de milho com cerca de 100 kg ha⁻¹ de N, de cinco fontes nitrogenadas em ambos os sistemas de plantio. As fontes nitrogenadas - sulfato de amônio, nitrato de amônio, uréia e duas soluções nitrogenadas constituídas de uréia + nitrato de amônio (uran) e uréia + nitrato de amônio + sulfato de amônio (sulfuran) - foram aplicadas na superfície e incorporadas no meio da entrelinha. Após a aplicação da cobertura, instalaram-se, ao acaso, três coletores do tipo semi-aberto estático, por tratamento, sendo efetuadas seis amostragens de N-NH₃ volatilizado, em intervalos de quatro a cinco dias. No SPD, as perdas acumuladas de N-NH₃ provenientes das fontes uréia, uran e sulfuran aplicadas na superfície foram, respectivamente, de 78,0; 37,2 e 26,9% do N aplicado. No SPC, as perdas mais significativas foram de uréia (30,7%) e uran (9,7%). O nitrato de amônio e o sulfato de amônio apresentaram perdas inferiores a 15,0% do N aplicado à superfície. A correlação das perdas por volatilização de N-NH₃ e a produtividade dos dois experimentos mostraram um ajuste linear negativo, de tal forma que no SPD houve uma queda de produção de 13,3 kg de grãos e no SPC, de 11,8 kg de grãos para cada quilograma de N volatilizado.

Termos de indexação: plantio direto, plantio convencional, volatilização de amônia, adubos nitrogenados sólidos, adubos nitrogenados fluidos, milho.

SUMMARY: *NH₃-N VOLATILIZATION IN CORN CROP: II - EVALUATION OF SOLID AND FLUID SOURCES UNDER NO-TILLAGE AND CONVENTIONAL SYSTEMS*

Two field experiments were carried out with corn, using no-tillage system (NTS) over oat residues, in a clay dark-red latosol at the Centro de Pesquisa Novartis - Seeds, in Uberlândia, State of Minas Gerais, Brazil, and conventional tillage system over soybean residues (CTS), in

⁽¹⁾ Trabalho apresentado no I Congresso de Plantio Direto, realizado em Ponta Grossa (PR), em 18-22 de março de 1996. Recebido para publicação em maio de 1996 e aprovado em junho de 1997.

⁽²⁾ Pesquisador Visitante Estrangeiro, Departamento de Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia, Caixa Postal 593, CEP 38406-067 Uberlândia (MG).

⁽³⁾ Professor Titular, Departamento de Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia, Caixa Postal 593, CEP 38406-067 Uberlândia (MG).

⁽⁴⁾ Técnico Agrícola, Centro de Pesquisas Novartis-Seeds, Rodovia BR-452, km 142, Uberlândia (MG).

a sandy red-yellow latosol at the Santa Terezinha farm, Uberlândia. The objective of this study was to evaluate the $\text{NH}_3\text{-N}$ volatilized from nitrogen sources, side-dressed applications, of approximately 100 kg ha^{-1} , applied in the middle of the rows. Five nitrogen sources [urea, ammonium nitrate, ammonium sulphate, urea + ammonium nitrate solution (uran) and urea + ammonium nitrate + ammonium sulphate solution (sulphuran)] and two forms of application: surface and incorporated (5-7 cm) were used in both crop systems. After the nitrogen side-dressing application, three semi-open static collectors of $\text{NH}_3\text{-N}$ were installed by treatment. Six samples were taken at intervals of four to five days. In the NTS, the accumulative $\text{NH}_3\text{-N}$ losses from urea, uran and sulphuran were, respectively, 75.5, 39.2 and 25.5% of the surface applied N. The most significant losses in the CTS occurred with urea (30.7%) and uran (9.7%). Ammonium sulphate and ammonium nitrate showed $\text{NH}_3\text{-N}$ losses lower than 15.0%. A negative linear regression was found between relative corn yield and $\text{NH}_3\text{-N}$ losses. The data showed that 7.9 kg ha^{-1} of grains were lost per kilogram of volatilized nitrogen.

Index terms: no-tillage system, conventional system, $\text{NH}_3\text{-N}$ volatilization, nitrogen fertilizers, fluid fertilizers, corn.

INTRODUÇÃO

A adubação nitrogenada em cobertura, na cultura de milho, é feita, principalmente, utilizando-se uréia na superfície, tanto no sistema de plantio direto (SPD) como no convencional (SPC). Entre os mecanismos de transformação do N-uréia aplicado ao solo, a volatilização de amônia é um dos que contribuem para a baixa recuperação de N pela cultura (Ernst & Massey, 1960; Bouwmeester et al., 1985). A quantificação dessas perdas em condições de campo é fundamental para concluir sobre a conveniência de continuar com essa prática ou optar por um manejo alternativo. Volk (1959) registrou perdas de 29,3, 11,5 e 0,3% do N aplicado na forma de uréia, uran e nitrato de amônio respectivamente, à superfície do solo cultivado com pastagens. Eckert et al. (1986), em SPD de milho, obtiveram produtividades de 10,5, 9,9 e 9,9 t ha^{-1} de grãos quando cultivado sobre palhada de soja, e de 10,4, 8,5 e 8,2 t ha^{-1} em palhada de milho, com a aplicação de amônia anidra injetada no solo, uréia e uran superficial respectivamente. Mengel et al. (1982), comparando a aplicação superficial e incorporada a 20 cm de profundidade de amônia anidra e uran, verificaram maior rendimento de grãos de milho e teor foliar de N, quando as fontes foram incorporadas, tanto em SPD como em SPC. Timmons & Baker (1992) mostraram que a utilização de um injetor pontual ("point injector"), para a incorporação do uran na cobertura nitrogenada de milho, foi mais eficiente que a incorporação com haste e aplicação em banda superficial. Resultados de sete locais (SPD), em Missouri (EUA), onde o milho foi cultivado após soja, mostraram produções decrescentes de grãos com aplicação de nitrato de amônio na superfície, uran incorporado e na superfície respectivamente (Stecker, 1995). Segundo Varsa et al. (1995), a uréia e o uran podem sofrer grandes perdas por volatilização quando colocados na superfície do solo e em contato com resíduos. Na hidrólise enzimática dessas fontes, se o NH_4^+ não é absorvido pelo solo será perdido para a atmosfera. A cobertura fornecida pela palhada de milho (relação C/N alta) favorece a volatilização, imobilização e desnitrificação do N aplicado na

superfície (Doran, 1980). Já a menor cobertura morta proporcionada pela resteva de soja, associada ao fato de ser uma fonte adicional de N, permitiria melhor contato direto do adubo com o solo, favorecendo sua retenção e diminuindo a intensidade dos processos de transformação do N. Kitur et al. (1984), aplicando 84 kg ha^{-1} de N-nitrato de amônio à superfície na cultura de milho, mostraram um comportamento mais eficiente do SPC em relação ao SPD, com produtividade de 9,1 e 7,8 t ha^{-1} e recuperação de N no grão de 45 e 23% respectivamente. Esse comportamento foi atribuído à maior imobilização de N em SPD devido à maior atividade microbiana no solo sob esse sistema.

O presente estudo objetivou quantificar as perdas por volatilização de N- NH_3 das fontes sólidas nitrato de amônio (NA), sulfato de amônio (SA) e uréia (U) e das fontes fluidas uran (UR, nitrato de amônio + uréia) e sulfuran (SU, nitrato de amônio + uréia + sulfato de amônio) aplicadas à superfície e incorporadas (5 a 7 cm), na cobertura nitrogenada de milho, em dose única de cerca de 100 kg ha^{-1} de N no SPD e no SPC.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo constou de dois experimentos no ano agrícola 1994/95 em SPD, com irrigação suplementar, no Centro de Pesquisa Novartis-Seeds, Rodovia BR 452, km 142 do município de Uberlândia (MG), e em SPC, sequeiro, na Fazenda St^a. Teresinha, Rodovia BR 050, km 102 do mesmo município.

O experimento em SPD foi efetuado em latossolo vermelho-escuro distrófico argiloso, apresentando pH (H_2O) de 6,2; 32 mg kg^{-1} de P (Mehlich); $70 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de CTC; 76% de saturação de bases; 32 g kg^{-1} de M.O. e 450, 350 e 200 g kg^{-1} , respectivamente, de argila, silte e areia, para a camada de 0-20 cm de profundidade. O experimento em SPC foi realizado em latossolo vermelho-amarelo, distrófico, arenoso, com pH (H_2O) de 5,8; 7 mg kg^{-1} de P (Mehlich); $27,3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de CTC; 61% de saturação de bases; 22 g kg^{-1} de M.O. e 140 por 50 e 810 g kg^{-1} de argila,

silte e areia respectivamente, para a profundidade de 0-20 cm.

No SPD, o plantio do milho híbrido, triplo, Densus, foi efetuado sobre uma resteva de 5,8 t ha⁻¹ de aveia-preta. A adubação de plantio foi de 440 kg ha⁻¹ do formulado 10-20-25 (N, P₂O₅, K₂O) + 40 kg ha⁻¹ de F.T.E. BR-12. No SPC, o solo foi subsolado e gradeado. O plantio do híbrido Densus foi sobre uma área cultivada com soja no verão anterior. A adubação de plantio foi de 400 kg ha⁻¹ do formulado 10-30-10 + 50 kg ha⁻¹ de F.T.E. BR-12, seguida 18 dias após, de uma cobertura de 67 kg ha⁻¹ de K₂O. Tanto no SPD como no SPC, quatro semanas após o plantio, efetuou-se desbaste manual, visando obter um estande médio de 62.500 plantas ha⁻¹. O delineamento experimental, nos dois experimentos, foi de blocos casualizados, com dez tratamentos e duas repetições. As parcelas foram constituídas de quatro linhas, espaçadas de 0,8 m e 25 m de comprimento. Os tratamentos de cobertura nitrogenada consistiram em cinco fontes, aplicadas de forma mecanizada na maioria dos tratamentos, aos 33 dias após o plantio (d.a.p.) em dose única de cerca de 100 kg ha⁻¹ em faixa superficial e enterradas a 5-7 cm no meio das entrelinhas. As fontes sólidas utilizadas foram nitrato de amônio (NA, 34% N); sulfato de amônio (SA, 20,6% N) e uréia (U, 45% N) e, as fluidas, uran (UR, 32% N-nitrato de amônio + uréia) e sulfuran (SU, 20% N-nitrato de amônio + uréia + sulfato de amônio). No quadro 1, encontram-se as doses médias de N aplicadas no solo sob os coletores de amônia das cinco fontes no SPD e no SPC. Os valores indicados foram obtidos com base na calibração da adubadeira e do diâmetro do coletor. Com exceção do sulfuran no SPC, as doses aplicadas apresentaram uma variação de apenas 5% (valor médio de 100,8 kg ha⁻¹ de N aplicado). No caso específico do tratamento com sulfuran, no SPC, houve um erro na velocidade da aplicação do trator, o que

provocou uma superdosagem. Em ambos os sistemas, a aplicação superficial dos adubos sólidos foi manual, na área de influência dos sistemas coletores de amônia, para obter uma maior precisão na quantidade aplicada. Esse cuidado não foi necessário com as fontes fluidas, visto o contato mais uniforme, quando aplicadas à superfície. Não houve testemunha sem adubação de cobertura.

No SPD, a área experimental foi irrigada previamente ao plantio com 30 mm e, posteriormente, efetuaram-se irrigações suplementares de 15 mm, a cada três-quatro dias, em setembro e outubro, até regularização das chuvas. Medidas de pluviometria e temperaturas médias, máximas e mínimas foram realizadas durante o período experimental nos dois locais (Quadro 2).

As perdas gasosas de N-NH₃ foram quantificadas em coletor semi-aberto estático adaptado de Nömmik (1973) por Lara Cabezas & Trivelin (1990) e calibrado por Lara Cabezas et al. (1997) para estimar perdas reais em condições de campo. A instalação dos coletores foi efetuada em delineamento inteiramente casualizado, em triplicata, em cima do sulco de adubação de cada tratamento, de tal forma que, em cada experimento foram utilizados trinta coletores (cinco fontes x dois métodos de aplicação x três repetições). Efetuaram-se seis coletas do N-NH₃ volatilizado do absorvedor inferior em intervalos de quatro a cinco dias. Os discos absorvedores foram guardados em saco plástico e armazenados em geladeira (5°C) para posterior extração da amônia retida. O N-NH₃ retido no disco (NVa) foi extraído e determinado de acordo com Lara Cabezas et al. (1997). Os resultados foram expressos em mg m⁻² de N-NH₃ e transformados para porcentagem do N aplicado.

Aos 65 dias após o plantio, em ambas as áreas experimentais, foi colhida, de cada parcela, nas duas

Quadro 1. Doses de N aplicadas sob os coletores de amônia das cinco fontes nitrogenadas na cultura de milho no sistema de plantio direto (SPD) e no sistema de plantio convencional (SPC)⁽¹⁾

Tratamentos		Aplicação de N			
		SPD		SPC	
Fontes ⁽²⁾	Forma de aplicação	Efetiva mg m ⁻²	Por ha kg ha ⁻¹	Efetiva mg m ⁻²	Por ha kg ha ⁻¹
SA	Superficial	9.968	99,7	10.008	100,1
	Incorporada	9.004	90,0	9.931	99,3
NA	Superficial	10.552	105,6	9.931	99,3
	Incorporada	10.330	103,3	11.695	117,0
U	Superficial	10.079	100,8	10.173	101,7
	Incorporada	10.195	102,0	9.621	96,2
UR	Superficial	10.233	102,2	9.876	98,8
	Incorporada	10.026	100,3	9.888	98,9
SU	Superficial	10.000	100,0	18.322	183,2
	Incorporada	9.991	99,9	18.328	183,3

⁽¹⁾ Médias de três coletores. ⁽²⁾ SA: sulfato de amônio; NA: nitrato de amônio; U: uréia; UR: uran (nitrato de amônio + uréia); SU: sulfuran (nitrato de amônio + uréia + sulfato de amônio).

Quadro 2. Registro de parâmetros climáticos no Centro de Pesquisa Novartis-Seeds (SPD) e na Fazenda St^a. Teresinha (SPC) durante o período experimental⁽¹⁾

Parâmetro	Meses (1994-95)						
	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março
Centro de Pesquisa Ciba-Sementes (SPD)							
Pluviometria, mm	0	141	129	264	127	...	...
Irrigação, mm	135	60	0	0	0	...	...
Temperatura, °C Máx.	34	38	36	35	32	...	...
Temperatura, °C Mín.	17	19	19	20	20	...	...
Fazenda St^a. Teresinha (SPC)							
Pluviometria, mm	...	...	32	381	255	394	103
Temperatura, °C Máx.	...	...	26	29	29	28	29
Temperatura, °C Mín.	...	...	18	19	19	18	18

⁽¹⁾ No SPD (sistema de plantio direto) os registros foram de 16/9/94 (plantio) até 23/1/95 (colheita). No SPC (sistema de plantio convencional) de 22/11/94 (plantio) até 1/4/95 (colheita).

linhas centrais, a parte aérea de cinco plantas por parcela, para determinação de massa seca e quantidade de N acumulado. Na colheita, determinaram-se o número de plantas, o peso de 1.000 grãos, a produção de grãos (umidade corrigida para 130 g kg⁻¹) e a massa seca de grão, que foi colocado em estufa (60°C) até peso constante para a determinação do N exportado para o grão. O N foi determinado por digestão sulfúrica e destilação Kjeldahl pelo método de Parkinson & Allen (1975).

O efeito das fontes e formas de aplicação na volatilização de amônia, nos parâmetros de fitomassa e absorção de N pela cultura em cada sistema de plantio, foi avaliado por análise da variância em esquema fatorial 5 x 2, e as médias dos tratamentos, comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5%. Os parâmetros de massa seca e N acumulado na etapa de florescimento e de peso de 1.000 grãos, N exportado para o grão e produtividade foram avaliados de forma similar.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No quadro 3 são apresentadas perdas acumuladas de N-NH₃ volatilizado das cinco fontes nitrogenadas, 24 e 26 dias após aplicação no SPD e SPC respectivamente. No SPD, as perdas mais significativas foram das fontes aplicadas na superfície dos resíduos. Em ordem decrescente foram de 78,0; 37,2; 26,9; 10,2 e 7,9% do N aplicado das fontes uréia, uran, sulfuran, sulfato de amônio e nitrato de amônio respectivamente. As perdas apresentaram relação direta com a presença de N-amídico nas fontes: 45% para a uréia, 14% para o uran e 8% para o sulfuran. Segundo Bremmer (1995), o risco de perdas gasosas por volatilização de amônia é particularmente alto em

sistemas reduzidos de manejo agrícolas, nos quais a uréia é aplicada superficialmente. A maior atividade da urease da palhada em relação ao solo (Eckert et al., 1986) deve facilitar a rápida hidrólise do N-amídico, favorecendo sua volatilização. De fato, as perdas do N-uréia registradas até as 192 horas após a aplicação foram de 50,8% do N aplicado (Figura 1a).

Por outro lado, dois dias antes da adubação de cobertura nitrogenada, registraram-se 31 mm de precipitação, o que deve ter contribuído para a manutenção da umidade na palhada, facilitando a dissolução rápida da uréia. Decorridos oito dias da adubação, houve três eventos pluviométricos, de 4, 6 e 13 mm de água, aos 3, 5 e 7 dias respectivamente, os quais não devem, provavelmente, ter sido suficientes para lavar a uréia da palhada à superfície. As perdas expressivas do N-uran incorporado (28,1% do N aplicado, valor não considerado na comparação estatística) ocorreram por um erro na forma de aplicação. No SPC, as perdas foram de 30,7; 18,3; 9,8; 3,7 e 2,5% do N aplicado na superfície das fontes uréia, sulfuran, uran, sulfato de amônio e nitrato de amônio respectivamente (Quadro 3). A perda registrada pelo sulfuran foi na base de uma aplicação de 183 kg ha⁻¹ de N (Quadro 1). Em dosagens elevadas, a volatilização de amônia apresenta um comportamento exponencial (Overrein & Moe, 1967; Rodrigues & Kiehl, 1986). As maiores perdas de N-NH₃ do tratamento sulfuran, proporcionais ao conteúdo de N amídico, podem ser atribuídas à maior dosagem de N aplicado. Na figura 1b são apresentadas as perdas de N-NH₃ no decorrer do período de amostragem, sendo registradas para a uréia, na superfície, perdas acumuladas de 22,2% do N, 192 horas após aplicação. Dois dias antes da aplicação da cobertura nitrogenada, foram registrados 4 mm de chuva, e, depois, 44 mm de chuva, os quais devem ter contribuído para a incorporação da uréia no solo. Esses resultados estão indicando que é mais importante o umedecimento do

Quadro 3. Perdas acumuladas de N-NH₃ volatilizado provenientes da aplicação superficial e incorporada de cinco fontes nitrogenadas à cobertura de milho nos dois sistemas de plantio⁽¹⁾

Fonte nitrogenada	Forma de aplicação				Média
	Superficial		Incorporada		
	mg m ⁻²	% do N aplicado	mg m ⁻²	— % do N aplicado —	
Sistema de plantio direto					
Sulfato de amônio	1.018	10,2a	193	2,1a	6,2A
Nitrato de amônio	833	7,9a	177	1,7a	4,8A
Uréia	7.849	78,0c	213	2,1a	40,1C
Uran	3.810	37,2b	2.824	-	37,2C
Sulfuran	2.688	26,9b	205	2,0a	14,5B
Média	-	2,0A	-	2,0B	
dms fontes x modo (Tukey, 0,05)					
Dentro de modo superficial					12,9
Dentro de modo incorporato					12,0
C.V. (%)					27,8
Sistema de plantio convencional					
Sulfato de amônio	370	3,7a	195	2,0a	2,8AB
Nitrato de amônio	263	2,5a	175	1,5a	2,0A
Uréia	3.110	30,7d	417	4,3a	17,5D
Uran	961	9,8b	255	2,6a	6,2B
Sulfuran	3.346	18,3c	617	3,4a	10,8C
Média	-	13,0A	-	2,8B	
dms fontes x modo (Tukey, 0,05)					5,8
C.V. (%)					29,0

⁽¹⁾ As médias entre fontes (coluna) e entre modos de aplicação (linha), seguidas de letras maiúsculas desiguais, diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5%. As médias das fontes dentro de cada forma de aplicação (colunas), seguidas de letras minúsculas iguais, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

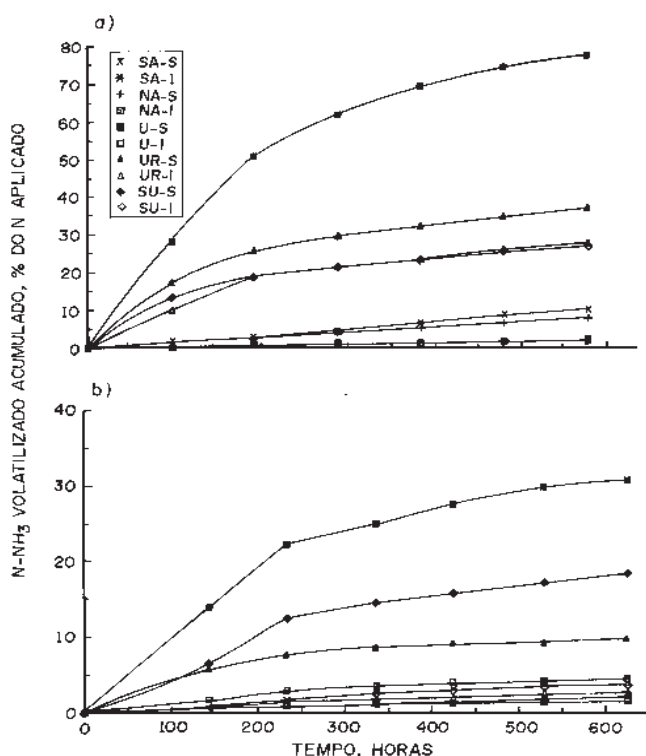


Figura 1. Perdas acumuladas de N-NH₃, ao longo do tempo, provenientes da aplicação superficial (S) e incorporada (I) de uréia (U), nitrato de amônio (NA), sulfato de amônio (SA), uran (UR) e sulfuran (SU) na cobertura nitrogenada de milho. a) SPD; b) SPC.

solo depois da aplicação da uréia na superfície, do que a condição de umedecimento do solo no momento da aplicação. Tanto o sulfato de amônio como o nitrato de amônio registraram as menores perdas gasosas tanto em SPD com em SPC, apesar das diferentes condições experimentais. O quadro 3 mostra, ainda, que independentemente da fonte e do sistema de plantio, a volatilização de N-NH₃ foi superior quando os fertilizantes foram aplicados na superfície. Entretanto, as diferenças entre superficial e incorporado foram ampliadas no SPD.

Na etapa de florescimento do milho, foi efetuada, em ambos os locais, a determinação de massa seca e do N absorvido (Quadro 4).

No SPD, independentemente da fonte, houve menor produção de massa seca e absorção de N pela parte aérea, quando as fontes foram incorporadas. A palhada de aveia-preta apresenta alta relação C/N (Monegat, citado por Sá, 1993); isso poderia ter criado condições de falta de N no solo, favorecendo o processo de imobilização e, conseqüentemente, menor absorção do N pela cultura (Varsa et al., 1995; Sá, 1996). Tanto a volatilização quanto a imobilização foram de grande importância, principalmente no caso da uréia. No SPC, a resteva da soja deve ter fornecido uma fonte adicional de N à cultura, enquanto as menores perdas de N-NH₃ volatilizado, juntamente com o processo de imobilização comparativamente menor, teriam favorecido uma eficiência superior da uréia, o que estaria refletido tanto na produção de massa seca como na absorção do N pela planta.

Quadro 4. Massa seca e N absorvido pela parte aérea do milho na época do florescimento nos dois sistemas de plantio

Fonte nitrogenada	Massa seca		Teor de N		N acumulado	
	Superficial	Incorporado	Superficial	Incorporado	Superficial	Incorporado
	kg ha ⁻¹		g kg ⁻¹		kg ha ⁻¹	
Sistema de plantio direto						
Sulfato de amônio	8.770	8.326	17,4	14,9	153	124
Nitrato de amônio	7.847	6.131	18,9	17,3	148	106
Uréia	6.070	5.907	17,7	16,1	107	95
Uran	8.668	7.420	16,1	17,0	140	126
Sulfuran	9.242	7.920	17,1	16,4	148	130
Média	8.119	7.141	17,4	16,3	141	116
Entre fontes						
(DMS, Tukey, 0,05)	3.495 (ns)		-	-	60 (ns)	
Entre modos de aplicação						
(DMS, Tukey, 0,05)	1.486 (ns)		-	-	25 (ns)	
C.V. (%)	19,3		-	-	19,5	
Sistema de plantio convencional						
Sulfato de amônio	11.697	10.731	16,6	14,6	194	157
Nitrato de amônio	9.386	10.021	15,2	13,4	143	134
Uréia	11.404	12.064	15,5	15,4	177	186
Uran	10.125	10.806	13,1	16,9	133	186
Sulfuran	10.526	10.009	15,8	14,7	166	147
Média	10.628	10.326	15,2	15,0	163	162
Entre fontes						
(DMS, Tukey, 0,05)	4.830 (ns)		-	-	80 (ns)	
Entre modos de aplicação						
(DMS, Tukey, 0,05)	2.054 (ns)		-	-	34 (ns)	
C.V. (%)	19,0		-	-	20,6	

No quadro 5 são apresentados os resultados de peso de 1.000 grãos, N exportado pelo grão e produtividade, em ambos os sistemas de plantio. Não houve diferença significativa entre as fontes para os parâmetros avaliados.

De acordo com Anghinoni (1985), outras perdas de N podem, simultaneamente, ocorrer, mascarando e até sobrepondo o efeito das perdas gasosas. Nesse sentido, no SPD, além das perdas por volatilização, pode ter havido imobilização, ainda que temporária. Já no SPC podem ter sucedido perdas por lixiviação (não quantificadas), devido à alta pluviometria acontecida após a adubação, num solo de textura arenosa e de baixa CTC (30 mmol_c dm⁻³). A ausência de resposta observada, entre fontes, nem sempre constitui um indicador de eficiência, mesmo porque a comparação estatística de produtividade entre os tratamentos mascara a dinâmica do N aplicado. Maior atenção deve ser dada aos processos de transformação de N no solo. Em ambos os sistemas, houve uma média de 13,4 kg de N exportado por tonelada de grão produzida, muito similar à obtida por Coelho et al. (1992), com uma média de 12,3 kg de N por tonelada de grão, média de oito tratamentos de adubação nitrogenada.

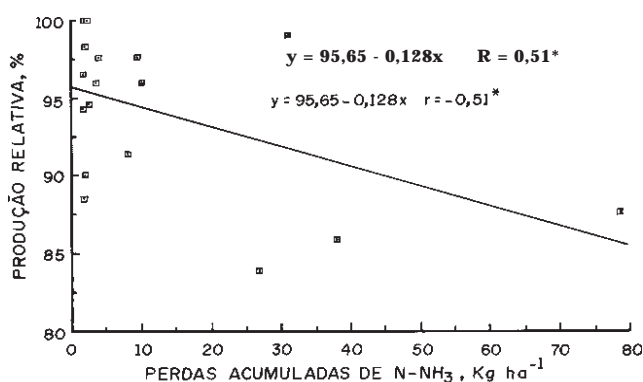
A figura 2 mostra o ajuste efetuado entre a produtividade relativa do milho e as perdas gasosas de N-NH₃ para os dois sistemas de plantio. Na

correlação, foram excluídos os valores de produtividade correspondentes às perdas de N-NH₃ do uran incorporado em SPD e de sulfuran aplicado na superfície e incorporado em SPC. Verifica-se que a correlação negativa está indicando que maiores perdas de N por volatilização correspondem a menor produção relativa, independentemente do sistema de manejo.

Em SPD, para uma magnitude de perdas de 76,8 kg ha⁻¹ de N volatilizado (diferença entre a maior perda verificada: 78,6 kg ha⁻¹ de N, e a menor perda média: 1,8 kg ha⁻¹ de N), foi estimada uma queda de produtividade relativa de 9,8% (1.025 kg ha⁻¹ de grãos), correspondendo, portanto, a uma queda de produtividade de 13,3 kg ha⁻¹ de grãos por quilograma de N volatilizado. Por outro lado, em SPC, a queda de 3,8% na produtividade relativa representou uma queda de 11,8 kg ha⁻¹ de grãos por quilograma de N volatilizado. Esses resultados colocam em evidência a grande dificuldade de associar perdas gasosas à produtividade. Diferentemente do verificado por Lara Cabezas et al. (1997) em que, por quilograma de N volatilizado, a produção foi diminuída em 19,3 kg ha⁻¹ de grãos, neste estudo, os antecedentes discutidos permitem concluir que a maior fertilidade dos solos supriu a cultura com maior quantidade de N-nativo, minimizando o efeito do N volatilizado na queda de produção. Sá (1993) mostrou, para a média de três

Quadro 5. Massa de mil grãos e produtividade do milho em SPD e SPC

Fonte nitrogenada	Massa 1.000 grãos		N exportado		Produtividade	
	Superficial	Incorporado	Superficial	Incorporado	Superficial	Incorporado
	g		kg ha ⁻¹			
Sistema de plantio direto						
Sulfato de amônio	350	337	128	134	10.042	9.256
Nitrato de amônio	356	343	131	140	9.536	9.860
Uréia	335	339	116	132	9.151	9.413
Uran	327	349	118	133	8.976	9.639
Sulfuran	321	354	123	132	8.776	10.460
Média	339	344	123	134	9.296	9.725
Entre fontes						
(DMS, Tukey, 0,05)	40 (ns)		37 (ns)		2.006 (ns)	
Entre modos de aplicação						
(DMS, Tukey, 0,05)	17 (ns)		16 (ns)		853 (ns)	
C.V. (%)	4,9		12,0		8,9	
Sistema de plantio convencional						
Sulfato de amônio	380	396	129	124	9.428	9.644
Nitrato de amônio	385	369	144	121	9.818	9.470
Uréia	398	398	132	124	9.717	9.583
Uran	390	385	124	119	9.583	9.286
Sulfuran	394	383	131	130	9.812	8.947
Média	389	386	132	124	9.672	9.386
Entre fontes						
(DMS, Tukey, 0,05)	23 (ns)		29 (ns)		2.193 (ns)	
Entre modos de aplicação						
(DMS, Tukey, 0,05)	10 (ns)		12 (ns)		932 (ns)	
C.V. (%)	2,5		9,4		9,6	

**Figura 2. Efeito das perdas gasosas de N-NH₃ volatilizado sobre a produtividade relativa do milho no SPD e SPC.**

híbridos de milho em SPD, quando adubados com doses de 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹ de N em cobertura, uma redução na produção de grãos de 15,0, 12,8, 7,0 e 3,3 kg ha⁻¹ respectivamente. Cabe destacar os altos valores de produtividade dos tratamentos-testemunha nesses resultados, como indicador da importância do solo no suprimento de N à cultura.

CONCLUSÕES

1. Tanto no SPD como no SPC as perdas por volatilização de N-NH₃ foram expressivas quando aplicadas, respectivamente, sobre a palhada de aveia-preta e na superfície do solo.
2. O nitrato de amônio e o sulfato de amônio apresentaram perdas inferiores a 15% do N aplicado na superfície, em ambos os sistemas de plantio.
3. As diferenças de comportamento entre as fontes em termos de perdas por volatilização não se refletiram sobre a produtividade do milho.

AGRADECIMENTOS

Ao Centro de Pesquisa Novartis-Seeds, Embrapa-CNPMS, Sete Lagoas (MG), e Ipiranga Serrana Fertilizantes, Jaú (SP), pela colaboração financeira na realização deste estudo. Aos alunos do Departamento de Agronomia da UFU, Srs. Lício A. Pena de Saire, Fernando N. Faggioni, Alexandre M. Lellis e Marcos G. Bortoletto, pela execução da fase experimental.

LITERATURA CITADA

- ANGHINONI, I. Adubação nitrogenada nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: SANTANA, M.B.M., ed., Adubação nitrogenada no Brasil. 1.ed. Ilhéus, CEPLAC/Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1985. p.1-18.
- BOUWMEESTER, R.J.; VLEK, P.L. & STUMPE, J.M. Effect of environmental factors on ammonia volatilization from urea-fertilized soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 49:376-381, 1985.
- BREMMER, J.M. Recent research on problems in the use of urea as a nitrogen fertilizer. *Fert. Res.*, The Netherlands, 42:321-329, 1995.
- COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E.; BAHIA FILHO, A.F.C. & GUEDES, G.A.A. Doses e métodos de aplicação de fertilizantes nitrogenados na cultura de milho sob irrigação. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 16:61-67, 1992.
- DORAN, J.W. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 44:765-771, 1980.
- ECKERT, D.J.; DICK, W.A. & JOHNSON, J.W. Response of no-tillage grown in corn and soybean residues to several nitrogen fertilizer sources. *Agron. J.*, Madison, 78:231-235, 1986.
- 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, 24:87-90, 1960.
- KITUR, B.K.; SMITH, M.S.; BLEVINS, R.L. & FRYE, W.W. Fate of ¹⁵N-depleted ammonium nitrate applied to no-tillage and conventional tillage corn. *Agron. J.*, Madison, 76:240-242, 1984.
- LARA CABEZAS, W.A.R. & TRIVELIN, P.C.O. Eficiência de um coletor semi-aberto estático na quantificação de N-NH₃ volatilizado da uréia aplicada ao solo. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 14:345-352, 1990.
- LARA CABEZAS, W.A.R.; KORNDÖRFER, 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*, Viçosa, 21:481-487. 1997b.
- MENGEL, D.B.; NELSON, D.W. & HUBER, D.M. Placement of nitrogen fertilizers for no-till and conventional till corn. *Agron. J.*, Madison, 74:515-518, 1982.
- NÖMMIK, H. The effect of pellet size on the ammonia loss from urea applied to forest soil. *Plant & Soil*, The Hague, 39:309-318, 1973.
- OVERREIN, L.N. & MOE, P.G. Factors affecting urea hydrolysis and ammonia volatilization in soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 31:57-61, 1967.
- PARKINSON, J.A. & ALLEN, S.E. A wet oxidation procedure suitable for the determination of nitrogen and mineral nutrients in biological material. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 6:1-11, 1975.
- RODRIGUES, M.B. & KIEHL, J.C. Volatilização de amônia após emprego de uréia em diferentes doses e modos de aplicação. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 10:37-43, 1986.
- SÁ, J.C. Manejo da fertilidade de solo no sistema plantio direto. 1.ed. In: CNPT-EMBRAPA, FUNDACEP-FECOTRIGO, FUNDAÇÃO ABC. Plantio direto no Brasil. Passo Fundo, Aldeia Norte, 1993. p.37-60.
- SÁ, J.C. Manejo de nitrogênio na cultura de milho no sistema de plantio direto. 1.ed. Passo Fundo, Aldeia Norte, 1996. 23p.
- STECKER, J. Nitrogen sources and placement method for no-till corn. In: NORTH CENTRAL EXTENSION-INDUSTRY SOIL FERTILITY CONFERENCE, 24., St. Louis, Missouri, 1994. *Proceedings*. St. Louis, Missouri, Potash & Phosphate Institute, 1995. p.18-19.
- TIMMONS, D.R. & BAKER, J.L. Fertilizer management effect on recovery of labeled nitrogen by continuous no-till. *Agron. J.*, Madison, 84:490-496, 1992.
- VARSA, E.C.; KELLER, K.E.; JEMISON, J.M.; OSBORN, M.W.; LEIS, A.K. & HNETKOVSKY, S.W. Nitrogen placement in no-till corn. In: PROCEEDINGS OF NORTH CENTRAL EXTENSION-INDUSTRY SOIL FERTILITY CONFERENCE, 24., St. Louis, Missouri, 1994. *Proceedings*. St. Louis, Missouri, Potash & Phosphate Institute, 1995. p.69-74.
- VOLK, G.M. Volatile loss of ammonia following surface application of urea to turf or bare soils. *Agron. J.*, Madison, 51:746-749, 1959.