

INFLUÊNCIA DA MISTURA DE SULFATO DE AMÔNIO COM URÉIA SOBRE A VOLATILIZAÇÃO DE NITROGÊNIO AMONIACAL⁽¹⁾

G. C. VITTI⁽²⁾, J. E. TAVARES Jr.⁽³⁾, P. H. C. LUZ⁽⁴⁾,
J. L. FAVARIN⁽⁵⁾ & M. C. G. COSTA⁽⁶⁾

RESUMO

Com o objetivo de avaliar a influência da mistura de sulfato de amônio com uréia sobre a volatilização de nitrogênio amoniacal (N-NH₃), realizou-se um experimento em laboratório climatizado do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas (ESALQ/USP). Em um delineamento inteiramente casualizado, foram utilizados cinco tratamentos com cinco repetições. Cada tratamento foi obtido pela mistura de uréia (330 mg) com sulfato de amônio (0, 75, 150, 225 e 300 mg). As misturas de fertilizantes foram aplicadas na superfície do solo (Latosolo Vermelho distrófico, textura média/arenosa) contido em recipientes plásticos de 400 cm³. O N-NH₃, volatilizado aos 3, 8, 15 e 23 dias da incubação, foi coletado em recipiente com ácido sulfúrico e indicador alaranjado de metila. Variáveis que influenciam a qualidade da mistura de fertilizantes, como higroscopicidade, granulometria e ângulo de repouso, também foram avaliadas. A volatilização do N-NH₃ depende do pH do solo. A mistura de uréia (330 mg) com sulfato de amônio (300 mg) reduziu significativamente as perdas de N-NH₃ sem afetar a qualidade da mistura em relação aos atributos físico-químicos avaliados, apresentando eficiência técnica e agrônômica para o fim proposto.

Termos de indexação: fontes de nitrogênio, amônia, mistura de fertilizantes.

⁽¹⁾ Trabalho de Iniciação Científica do segundo autor, financiado pela FAPESP. Recebido para publicação em agosto de 2001 e aprovado em fevereiro de 2002.

⁽²⁾ Professor Titular do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" – ESALQ/USP. Av Pádua Dias 11, Caixa Postal 9, CEP 13418-900 Piracicaba (SP). E-mail: gcvitti@carpa.ciagri.usp.br

⁽³⁾ Mestrando do Departamento de Produção Vegetal, ESALQ/USP. E-mail: julio_tavares@zipmail.com.br

⁽⁴⁾ Professor do Departamento de Zootecnia, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos – FZEA/USP. Rua Duque de Caxias, Norte 225 CEP 13635-900 Pirassununga (SP). E-mail: phcerluz@usp.br

⁽⁵⁾ Professor Dr. do Departamento de Produção Vegetal, ESALQ/USP. E-mail: jlfavari@carpa.ciagri.usp.br

⁽⁶⁾ Mestranda do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, ESALQ/USP. E-mail: mcgcosta@carpa.ciagri.usp.br

SUMMARY: *INFLUENCE OF AMMONIUM SULFATE IN MIXTURE WITH UREA ON THE VOLATILIZATION OF NH₃-N*

The objective of this study was to evaluate the influence of addition of ammonium sulfate in mixture with urea on the volatilization of NH₃-N. An experiment was carried out under controlled laboratory conditions at the Soil and Plant Nutrition Department (ESALQ/USP). The experimental design was completely randomized with five replications and five treatments. Each treatment was obtained by the mixture of urea (330 mg) with ammonium sulfate at different rates (0, 75, 150, 225 and 300 mg). The fertilizer mixtures were applied on the surface of soil (Latossolo Vermelho distrófico, medium/sandy texture) in plastic pots (400 cm³). Volatilized NH₃-N was collected on the 3rd, 8th, 15th and 23rd day after incubation in a flask containing sulfuric acid and methyl orange indicator. Variables that influence the quality of the fertilizer mixture, as hygroscopicity, granulometry, and rest angle were also evaluated. NH₃-N volatilization depends on the soil pH. The mixture of urea (330 mg) with ammonium sulfate (300 mg) reduced the losses of NH₃-N significantly without affecting the mixture quality, in relation to the evaluated physical and chemical attributes. This mixture presented technical and agronomic efficiency for the proposed objective.

Index terms: nitrogen sources, ammonia losses, fertilizers mixture.

INTRODUÇÃO

O nitrogênio é o nutriente que mais limita a produtividade agrícola e a relação custo/benefício de interesse do agricultor, podendo também provocar prejuízos ao ambiente pelo elevado custo energético de produção das fontes nitrogenadas (Vitti et al., 1999). Estimativas realizadas indicam que os fertilizantes nitrogenados são responsáveis por 80 % dos custos com fertilizantes e 30 % de toda energia empregada na produção agrícola (Stangel, 1984).

A recuperação pelas plantas do nitrogênio fornecido por fertilizantes é inferior a 50 % em relação à quantidade aplicada (Rao et al., 1992), sendo a volatilização um importante processo responsável pela baixa eficiência. As perdas de N-NH₃, quando a uréia é aplicada ao solo, pode representar 50 a 80 % do total de nitrogênio aplicado (Volk, 1959; Allison, 1965), cujo efeito é aumentado em plantio direto e em áreas canavieiras com colheita de cana crua (Wood, 1991; Oliveira et al., 1997; Lara Cabezas, 1998).

A volatilização de nitrogênio amoniacal (N-NH₃), originado de fontes de N amídico (uréia), resulta da alcalinização da solução próxima ao grânulo durante sua hidrólise, catalisada pela enzima urease pela formação de íons bicarbonato (HCO₃⁻) e hidroxila (OH⁻). A elevação do pH da solução do solo poderá alcançar valores iguais a 10 (Nömmik & Nilsson, 1963), favorecendo a transformação de N-NH₄⁺ em N-NH₃ e a perda na forma de gás para a atmosfera.

O sulfato de amônio, fertilizante utilizado como fonte de nitrogênio e de enxofre, não sofre volatilização

de nitrogênio amoniacal (N-NH₃) quando o pH é inferior a 7, mesmo sendo aplicado sobre restos de cultura (Volk, 1959). Considerando tal característica do sulfato de amônio, verificou-se que a recuperação de nitrogênio é mais eficiente quando a aplicação de uréia é realizada em mistura com sulfato de amônio no mesmo grânulo (Villas Bôas, 1995).

Mediante o uso de mistura de fontes nitrogenadas para minimizar perdas, devem-se avaliar os atributos físico-químicos que influem na qualidade dessas misturas. A higroscopicidade é a tendência do produto em absorver umidade da atmosfera (Sauchelli, 1960), afetando a qualidade dos fertilizantes por meio da redução da fluidez, decorrente do empedramento (Alcarde et al., 1992). O ângulo de repouso do produto é indicador de sua escoabilidade, influenciando a uniformidade da dose aplicada durante sua distribuição (Luz, 1997). A granulometria, determinada pelo tamanho e forma das partículas, tem ação sobre a segregação dos constituintes da mistura, com reflexos na higroscopicidade e escoabilidade em consequência da variabilidade de forma e tamanho das partículas.

O experimento objetivou avaliar a influência da adição de sulfato de amônio em mistura com a uréia sobre a volatilização (N-NH₃), assumindo as seguintes hipóteses: (1) a mistura de fontes acidificantes (sulfato de amônio) com uréia, ainda que em mistura de grânulos e aplicada na superfície do solo, reduz a alcalinização da solução do solo (elevação do pH) durante a hidrólise da uréia e, conseqüentemente, a perda de nitrogênio amoniacal (N-NH₃); (2) a influência sobre o pH (parte da primeira hipótese) e a eficiência da aplicação superficial dessa

mistura de grânulos (uréia e sulfato de amônio), dependem da dose de sulfato de amônio na composição da mistura e (3) a qualidade da mistura, em relação aos atributos físico-químicos, é variável conforme a composição da mistura.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada em laboratório climatizado do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas da ESALQ/USP, no qual a temperatura foi mantida em 20 °C no decorrer do experimento. Utilizou-se o Latossolo Vermelho distrófico, cujos atributos físicos e químicos estão apresentados, respectivamente, nos quadros 1 e 2. Para análise dos atributos físicos, adotou-se o método proposto pela EMBRAPA (1997). As análises químicas foram realizadas de acordo com o método descrito por Raij et al. (1987), exceto a determinação de enxofre, realizada de acordo com o método relatado por Vitti (1988).

O experimento foi realizado em delineamento experimental inteiramente casualizado, empregando-se cinco tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos foram constituídos pela mistura de 330 mg de uréia (UR) com diferentes doses (0, 75, 150, 225 e 300 mg) de sulfato de amônio (SA), conforme apresentado no quadro 3. Para cada repetição, utilizaram-se 400 cm³ de solo condicionados em recipientes plásticos. Após aplicação dos tratamentos na superfície do solo, adicionou-se água até 50 % da capacidade de campo (17 mL H₂O 400 cm⁻³ solo), repetindo-se essa operação durante a pesquisa, para manutenção da umidade do sistema. Em seguida, os recipientes foram isolados do ambiente em frascos cilíndricos de 3,2 litros hermeticamente fechados.

A determinação do nitrogênio amoniacal volatilizado foi feita em sistema fechado. Os recipientes plásticos, que continham 400 cm³ de solo, nos quais foram aplicados os tratamentos, foram colocados no interior dos frascos cilíndricos hermeticamente fechados. Além dos recipientes com solo, recipientes com 25 mL de H₂SO₄ 0,1 mol L⁻¹ e

Quadro 1. Resultados das análises físicas do solo em relação à distribuição granulométrica, classe textural e água retida a diferentes tensões

Areia	Silte	Argila	Classe textural	Água retida - tensão (MPa)					
				0,001	0,005	0,010	0,033	0,101	1,5
g kg ⁻¹				kg kg ⁻¹					
820	20	160	Média/arenosa	0,213	0,174	0,088	0,085	0,060	0,047

Quadro 2. Resultados das análises químicas do Latossolo Vermelho-Escuro

pH	M.O.	P	S	K	Ca	Mg	Al	H + Al	S	T	V	m
CaCl ₂	g dm ⁻³	— mg dm ⁻³ —		mmol, dm ⁻³						— % —		
3,8	12,0	3,0	11,0	0,6	1,0	1,0	9,0	34,0	2,6	36,6	7,0	78,0

Quadro 3. Tratamentos empregados para avaliar a volatilização (V) da amônia

Tratamento	N-NH ₄ ⁺	N-amídico	N-total	S	N/S
mg 400 cm ⁻³	mg 400 cm ⁻³			TFSA	
V1 = 0 SA + 330 UR	-	150	150	-	-
V2 = 75 SA + 330 UR	16	150	166	18	9,22
V3 = 150 SA + 330 UR	32	150	182	36	5,02
V4 = 225 SA + 330 UR	48	150	198	54	3,65
V5 = 300 SA + 330 UR	64	150	214	72	2,95

2 gotas do indicador alaranjado de metila também foram colocados no interior dos frascos cilíndricos (Figura 1). O ácido e o indicador foram utilizados para avaliar a reação e quantificação da amônia liberada. A solução ácida utilizada na coleta da amônia volatilizada posteriormente foi titulada com NaOH 0,025 mol L⁻¹ para quantificar o N-NH₃ retido.

As determinações de N-NH₃ volatilizado foram realizadas aos 3, 8, 15, e 23 dias após aplicação da mistura de fertilizantes e, na sua quantificação, utilizou-se o fator 0,35 para a conversão de meq em mg de N-NH₃, conforme a expressão (1):

$$N-NH_3 = (V_{\text{branco}} - V_{\text{amostra}}) 0,35 \quad (1)$$

em que N-NH₃ é a quantidade de N volatilizado (mg), V_{branco} corresponde ao volume de base consumida na titulação em branco e V_{amostra} ao volume utilizado para a titulação das amostras. O fator 0,35 foi obtido a partir dos seguintes cálculos:

$$1 \text{ mL NaOH } 0,025 \text{ mol L}^{-1} \text{ -- } 0,025 \text{ mmol N}$$

$$(V_{\text{branco}} - V_{\text{amostra}}) \text{ ----- } X$$

$$1 \text{ mmol N} = 14 \text{ mg N}$$

$$\text{mg N}/14 = (V_{\text{branco}} - V_{\text{amostra}})0,025$$

$$\text{mg N} = (V_{\text{branco}} - V_{\text{amostra}}) \times 0,35$$

Para avaliar a volatilização no período de tempo estudado, aplicou-se regressão polinomial, adotando-se a de maior grau de significância. Além da análise de regressão, os resultados das avaliações de volatilização foram submetidos à análise da variância, utilizando o teste F a 99 % de confiança. Para as causas de variação em que F apresentou valor significativo, realizou-se o teste de Tukey para comparação das médias dos tratamentos.

A variação do pH do solo, dependendo das misturas de fertilizantes utilizadas, e sua influência no processo de volatilização (N-NH₃) foram avaliadas aos 23 dias da incubação. O pH foi determinado de acordo com o método proposto por Raij et al. (1987), utilizando amostras de solo coletadas na profundidade de 0-1 cm com auxílio de minissonda, para maior precisão na amostragem, repetindo-se o procedimento até obtenção de 20 g de solo de cada repetição.

Para avaliar a qualidade da mistura de grânulos, foram efetuados testes relativos aos atributos físico-químicos. O cálculo do ângulo de repouso foi realizado em misturas semelhantes àquelas utilizadas para determinar a volatilização de N-NH₃ (V1, V2, V3, V4 e V5), adotando-se quatro repetições. Uma amostra de 400 cm³ da mistura de fertilizantes foi distribuída no equipamento utilizado para essa finalidade, com formato retangular e parede de vidro com escala horizontal (cm) e vertical (cm). A distribuição das misturas de fertilizantes (amostras, 400 cm³) no interior do equipamento, a partir do lado esquerdo e junto à parede lateral (menor dimensão do retângulo), origina uma figura geométrica na forma de triângulo retângulo, cujo ângulo reto é formado entre a lateral e o fundo do equipamento. A partir das medidas das dimensões, vertical (altura do triângulo, cm) e horizontal (base do triângulo, cm), delimitadas pela amostra depositada no interior do equipamento, calculou-se o valor do ângulo de repouso (Luz, 1997), conforme a expressão (2):

$$\alpha = \text{arc tg} (\text{escala vertical}/\text{escala horizontal}) \quad (2)$$

em que a escala vertical corresponde à altura do triângulo (cm) e a escala horizontal à base do triângulo (cm) da figura geométrica formada pela deposição da amostra no interior do equipamento.

A higroscopicidade (H) da mistura foi determinada em quatro tratamentos, com quatro repetições de cada, diferentes daqueles utilizados para avaliação da volatilização: H1 - 100 % uréia (330 mg); H2 - 100 %

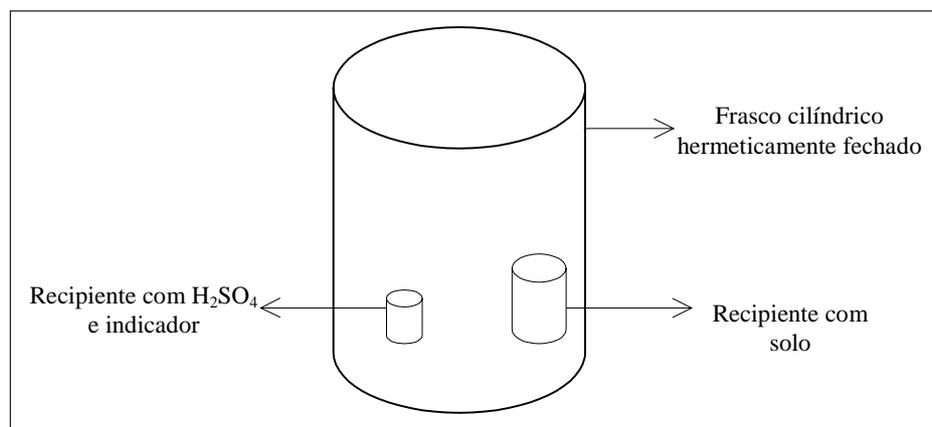


Figura 1. Representação esquemática do sistema utilizado na coleta da amônia volatilizada.

sulfato de amônio (300 mg); H3 - 82 % uréia + 18 % sulfato de amônio (270,6 + 54 mg) e H4 - 52 % uréia + 48 % sulfato de amônio (171,6 + 144 mg).

Os tratamentos foram colocados em quatro ambientes com diferentes umidades (81,1; 78,1; 69,5 e 58,0 %), mantidas constantes através de dessecadores de 250 mm de diâmetro que continham solução de ácido sulfúrico com diferentes concentrações: 2,9 mol L⁻¹, 3,59 mol L⁻¹, 33 mol L⁻¹ e 5,28 mol L⁻¹, respectivamente, padronizadas com NaOH 0,01 mol L⁻¹. Amostras das misturas de cada tratamento foram colocadas em recipientes plásticos com 4 cm de diâmetro e 1 cm de altura e submetidas à secagem em estufa a 50 °C durante 24 h, determinando-se, ao final, a massa da matéria seca das amostras. Em seguida, foram colocadas em quatro ambientes diferentes, em relação à umidade relativa (quatro repetições de cada mistura para cada umidade relativa), em recipientes hermeticamente fechados, durante 4, 8, 24, 48, 72 e 144 h. Ao final do período, procedeu-se à determinação da massa de cada amostra (mistura de fertilizantes + água), assim como da água absorvida (U %), calculada em relação à massa da amostra seca, conforme a expressão (3):

$$U = [(P_u - P_s)/P_s] 100 \quad (3)$$

em que U corresponde à umidade relativa da amostra (%), P_u à massa fresca da amostra (g) e P_s à massa seca da mesma amostra após a secagem em estufa (g).

A análise granulométrica foi realizada em quatro tratamentos (H1, H2, H3 e H4), os mesmos adotados para o estudo da higroscopicidade da mistura, utilizando agitador mecânico com jogo de peneiras previamente selecionadas (ABNT 4-4,76 mm; ABNT 10-2,0 mm; ABNT 18-1,0 mm; ABNT 20-0,84 mm; ABNT 35-0,5 mm; e, ABNT 50-0,3 mm). Uma

amostra de 400 cm³ de cada mistura, cuja massa fora previamente determinada, foi submetida à agitação mecânica (125 rpm) durante três minutos. Posteriormente, determinou-se a massa das frações retidas nas diferentes peneiras, obtendo-se a distribuição granulométrica das misturas de fertilizantes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados determinados para a perda de nitrogênio por volatilização encontram-se no quadro 4.

De acordo com os resultados, a intensidade máxima de volatilização de N-NH₃ da uréia ocorreu no período entre o 3º e o 9º dia após a incubação da mistura, alcançando valores superiores a 75 % em relação ao total de nitrogênio volatilizado (Quadro 4). Aos três dias de incubação, as perdas de N-NH₃ em relação às perdas totais (acumulada em 23 dias) foram iguais a 50,6 (V1); 48,4 (V2); 43,6 (V3); 46,6 (V4) e 37,0 % (V5).

Oito dias após a incubação, esses valores caíram para 28,6 (V1); 31,0 (V2); 35,6 (V3); 36,1 (V4) e 39,8 % (V5), indicando que as maiores perdas são verificadas logo após a adição do fertilizante no solo, evidenciando que a hidrólise da uréia é um processo rápido. Sengik (1993) verificou que a intensidade máxima de perdas de N-NH₃ ocorreu nos primeiros cinco dias após aplicação de resíduos utilizados como fonte de nitrogênio.

A perda de nitrogênio amoniacal até o 8º dia para o tratamento V1 em relação ao total acumulado no período (23 dias) foi igual a 79,2 % do nitrogênio volatilizado. Pinna & Valdívica (1978) registraram

Quadro 4. Perdas de N-NH₃, considerando as misturas de fertilizantes (uréia e sulfato de amônio) aplicadas na superfície de 400 cm³ de solo, após diferentes períodos de incubação (dias)

Tratamento	N-NH ₄ ⁺	N-amidico	Volatilização (mg N-NH ₃)					Equação
			3 dias	8 dias	15 dias	23 dias	Total	
mg 400 cm ⁻³ solo								
V1	-	150	61,51a	34,79b	20,23a	4,99ab	121,52	y = -0,20x ² +8,20x+38,83 R ² = 1
V2	16	150	61,49a	39,35ab	20,93a	5,32a	127,09	y = -0,22x ² +9,09x+36,48 R ² =0,99
V3	32	150	49,42b	40,34ab	19,46a	4,20bc	113,42	y = 0,23x ² +9,25x+24,20 R ² =0,99
V4	48	150	53,06b	41,05a	16,16a	3,61cd	113,88	y = -0,24x ² +9,15x+28,59 R ² =0,99
V5	64	150	36,03c	38,74ab	19,59a	3,11d	97,47	y = -0,23x ² +9,05x+11,23 R ² =0,99
Teste F (1 %)			86,11**	3,05**	1,00**	20,13**		
C.V. (%)			4,85	8,05	21,25	10,83		

** Significativo pelo teste F a 1 %. Médias seguidas de letras minúsculas diferentes, na mesma coluna, diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (p < 0,01).

70 % de perda de N-NH₃ da uréia por volatilização após quatro dias de sua aplicação, tendo observado que as perdas eram menores em pH ácido.

A adição de sulfato de amônio em mistura com uréia reduziu a volatilização de N-NH₃, principalmente no tratamento V5, determinando-se perda total de 97,47 mg N-NH₃, enquanto o tratamento V1 resultou em 121,52 mg de N-NH₃.

Na mistura representada pelo tratamento V5, a perda de nitrogênio três dias após a incubação foi significativamente reduzida em comparação com a dos demais tratamentos, sendo 41,4 % inferior ao V1, confirmando a hipótese de que uréia e sulfato de amônio, ainda que em mistura de grânulos e aplicados na superfície do solo, reduzem a perda de amônia proveniente da uréia.

Considerando as quantidades totais de nitrogênio aplicadas em cada tratamento, as percentagens de perdas em V1, V2, V3, V4 e V5 foram de 81, 77, 62, 58 e 46 %, respectivamente. A eficiência de aproveitamento em V1 foi de 19 % enquanto em V5 foi de 46 %.

A mistura caracterizada pelo tratamento V5 diminuiu as perdas de N-NH₃ por volatilização em 35 %. Watson (1987) verificou redução de 21 % nas perdas quando misturou uréia com nitrato de amônio. A mistura de uréia com sulfato de amônio diminuiu as perdas de N-NH₃ por volatilização em 38 % (Watson 1988).

Os resultados evidenciam que a eficiência da aplicação superficial da mistura de grânulos depende da dose de sulfato de amônio utilizada na mistura com uréia, confirmando a segunda hipótese deste trabalho.

De acordo com a figura 2, o pH do solo diminuiu com a adição de sulfato de amônio na mistura com uréia, apresentando variação de 1,1 unidade. O solo do tratamento V1 apresentou pH igual a 6,1 (23 dias

após a incubação), enquanto o tratamento V5 provocou o abaixamento do pH a 5,0. Segundo Hargrove (1988), o pH do solo é o fator que tem maior influência na perda de nitrogênio por volatilização, portanto a presença de fertilizantes acidificantes em mistura com uréia diminui as perdas de N-NH₃ (Villas Bôas, 1995).

A diferença observada para a perda total de N-NH₃, verificada entre os tratamentos V1 e V5, foi, aproximadamente, 20 % inferior. Esse resultado também foi constatado por Filimonov & Strelnikova (1974), os quais obtiveram 20 % de perda de N-NH₃ por volatilização proveniente da uréia em solo com pH próximo da neutralidade e apenas 4 % em solo ácido.

Os valores obtidos para ângulo de repouso, considerando os tratamentos, são apresentados na figura 3. Observa-se que o menor valor para esse atributo foi verificado para o tratamento exclusivo com uréia (35,6°), confirmando resultados obtidos por Luz (1997), o qual encontrou valores iguais a 35,8° (uréia) e 39,6° para a fórmula N-P-K (6-12-6). O ângulo de repouso varia com o tamanho e forma da partícula e com o grau de higroscopicidade do produto; assim, o menor valor para a uréia indica que sua escoabilidade é superior às misturas que receberam sulfato de amônio, uma vez que suas partículas são maiores, apresentam tamanho regular e menor higroscopicidade em relação às misturas (Figura 3).

O ângulo de repouso aumentou até à dose de 75 mg de sulfato de amônio em mistura com uréia e não sofreu grande variação quando as doses foram superiores a 75 mg. Portanto, pode-se afirmar que a mistura entre as referidas fontes (uréia e sulfato de amônio) é tecnicamente viável, não comprometendo a escoabilidade ou fluidez da mistura, assim como o aspecto agrônômico, uma vez que a uniformidade de aplicação pode ser mantida.

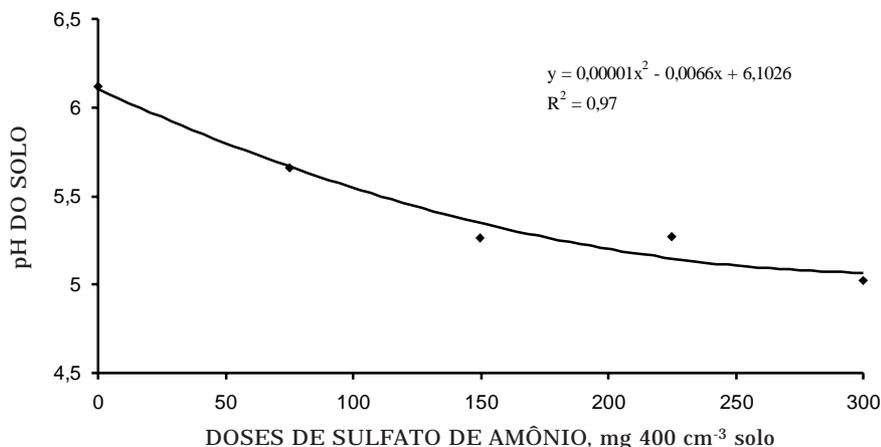


Figura 2. Valores de pH do solo, considerando as doses de sulfato de amônio presente nas misturas após 23 dias de incubação.

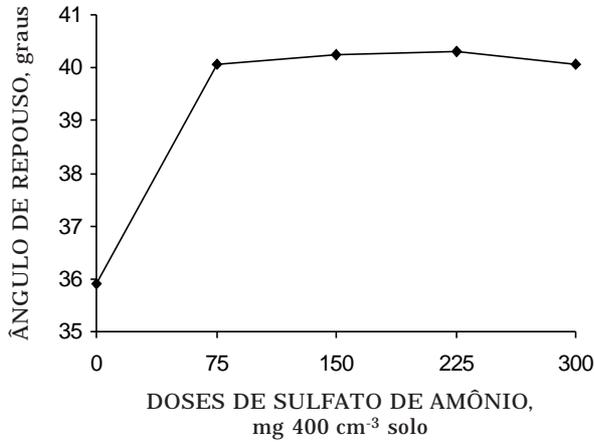


Figura 3. Valores obtidos para ângulo de repouso, considerando a dose de sulfato de amônio presente na mistura de fertilizantes.

Verificou-se que a absorção de umidade variou de acordo com o teor de umidade ambiente, do tempo de exposição e composição da mistura de fertilizantes H1, H2, H3 e H4. O aumento da umidade do ambiente e do tempo de exposição do fertilizante aumentou a quantidade de água absorvida.

Nas figuras 4, 5 e 6, verifica-se que os tratamentos que apresentaram maiores valores médios de absorção de água da atmosfera nas umidades relativas de 85,1, 78,1 e 69,5 % foram H3 e H4. A maior quantidade de água absorvida foi de 31,4 % (H3) na umidade relativa de 85,1 % com exposição igual a 144 h, indicando diminuição da umidade crítica em decorrência da mistura desses fertilizantes (Figura 4).

O tratamento H2 apresentou menores teores médios de absorção de água para as umidades relativas de 85,1 e 78,1 %, para qualquer tempo de exposição, evidenciando que a umidade crítica desse fertilizante é superior à da uréia e da mistura entre ambos, ocasionando menor higroscopicidade (Figuras 4 e 5). Esses resultados apresentam concordância com os valores obtidos pelo T.V.A. (1970), em que a umidade crítica da uréia, sulfato de amônio e da mistura entre ambos (1:1) a 30 °C é, respectivamente, de 75,2, 79,2 e 59,4 % (UR).

A maior absorção de água da atmosfera verificada pelas misturas de uréia com sulfato de amônio não inviabiliza a utilização dessas misturas, uma vez que, em condições de campo, o tempo de exposição das misturas à umidade relativa é inferior a 24 h, enquanto a diferença entre as misturas se acentua depois desse período. Portanto, pode-se afirmar que a sua utilização é viável, sem prejuízos para a qualidade do produto e para a operacionalidade da aplicação.

Para a umidade relativa de 58 %, não se constatou absorção de água para todos os tratamentos,

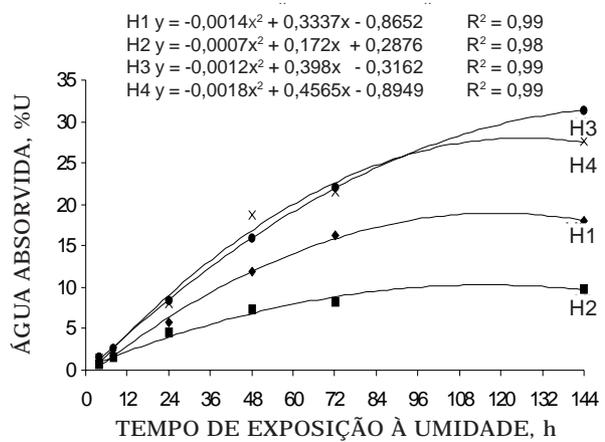


Figura 4. Valores médios de absorção de água (U%) pelas misturas de fertilizantes, considerando o tempo de exposição à umidade relativa de 85,1 %.

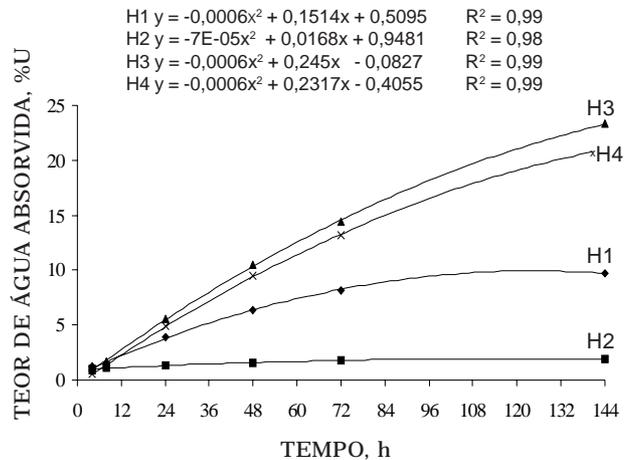


Figura 5. Valores médios de absorção de água (U%) pelas misturas de fertilizantes, considerando o tempo de exposição à umidade relativa de 78,1 %.

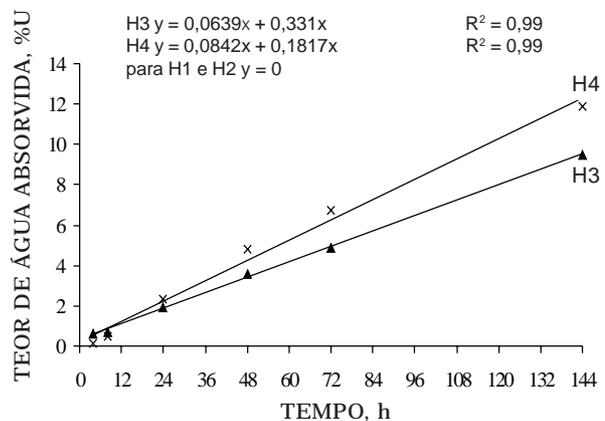


Figura 6. Valores médios de absorção de água (U%) pelas misturas de fertilizantes H3 e H4, considerando o tempo de exposição à umidade relativa de 69,5 %.

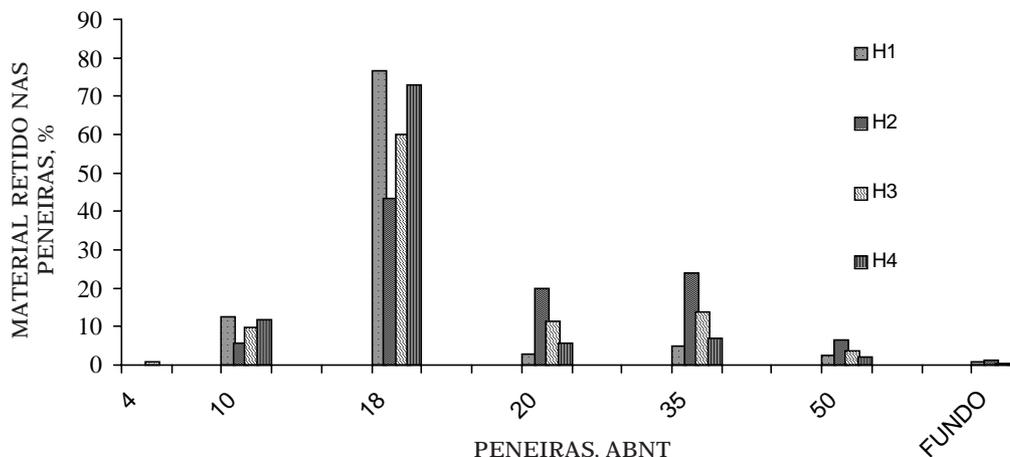


Figura 7. Granulometria dos materiais nos tratamentos, conforme as peneiras utilizadas ABNT 4, 10, 18, 20, 35 e 50.

independentemente do tempo de exposição do produto à umidade. Também não se observou absorção de umidade pela uréia e pelo sulfato de amônio na umidade de 69,5 %. Tais constatações são explicadas pelo fato de que na umidade de 58 e 69,5 % não foi atingida umidade crítica dos produtos avaliados.

Os resultados do teste de granulometria realizado nos tratamentos constituídos para a avaliação da higroscopicidade estão apresentados na figura 7.

Os tratamentos H1 e H4 apresentaram, respectivamente, 12,30 e 11,65 % da amostra retida na peneira ABNT 10; 76,67 e 73,12 % na peneira ABNT 18. Nas demais peneiras a quantidade da amostra retida não ultrapassou 5 %, apresentando na peneira ABNT 4 e no fundo do agitador uma participação inferior a 0,8 %, para ambos os tratamentos.

A amostra do tratamento H2 apresentou 43,22 % da quantidade da amostra retida na peneira ABNT 18; 19,81 % na peneira ABNT 20; 23,75 % na peneira ABNT 35 e o restante (inferior a 6 %) nas demais peneiras. A mistura H3 apresentou 85,53 % da amostra retida nas peneiras ABNT 18; 20 e 35, permanecendo retida, respectivamente, 60,1, 11,5 e 13,97 % da amostra.

Esses dados estão de acordo com as exigências constantes na Portaria nº 01, de 04/03/83 (Brasil, 1983), que especifica a natureza física dos fertilizantes, em cuja classificação a uréia granulada não deve ser retida na peneira ABNT 4 (100 %) e até 5 % na peneira ABNT 35, podendo ser estendido para a mistura 82 % de uréia + 18 % de sulfato de amônio (H4). O sulfato de amônio, classificado como farelado, não deve ficar retido na peneira ABNT 4 (100 %) e 20 % retido na peneira ABNT 7, podendo ser estendido para a mistura de 52 % de uréia + 48 % de sulfato de amônio (H3).

De acordo com os resultados da distribuição granulométrica para as misturas avaliadas, verifica-se que elas se encontram dentro das exigências da legislação, apresentando cerca de 70 % das amostras das misturas retidas na mesma peneira (ABNT 18), evidenciando a uniformidade em sua aplicação.

CONCLUSÕES

1. A mistura de uréia com sulfato de amônio é viável, pois proporciona diminuição das perdas de N-NH₃ por volatilização.
2. Os atributos físicos, como ângulo de repouso, higroscopicidade e granulometria, não são afetados a ponto de inviabilizar a utilização da mistura de uréia com sulfato de amônio.

LITERATURA CITADA

- ALCARDE, J.C.; MALAVOLTA, E.; BORGES, A.L.; MUNIZ, A.S.; VELOSO, C.A.; FABRÍCIO, A.C. & VIEGAS, J.M. Avaliação da higroscopicidade de fertilizantes e corretivos. *Sci. Agric.*, 49:137-144p. 1992.
- ALLISON, F.E. Evaluation of incoming and outgoing processes that effect soil nitrogen. In: BARTHOLOMEW, W.V. & CLARK, F.E., eds. *Soil nitrogen*. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p.573-615.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Divisão de corretivos e fertilizantes. Inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes e estimulantes ou biofertilizantes destinados à agricultura. Legislação. Portaria nº 84182. Portaria nº 01/83. Brasília, 1983. 88p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro nacional de pesquisas de solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Planaltina, 1997. 212p. (Documentos, 1)

- FILIMONOV, D.A. & STRELNIKOVA, R.A. Gaseous losses of ammonia following surface application of urea. *Sov. Soil Sc.*, 6:426-32, 1974.
- HARGROVE, W.L. Soil, environmental, and management factors influencing ammonia volatilization under field conditions. In: BOCK, B.R. & KISSEL, D.E., eds. *Ammonia volatilization from urea fertilizers*. Alabama, NFDC, TVA, 1988. p.17-36.
- LARA CABEZAS, W.A.R. Comportamento dos adubos nitrogenados em clima e solo de Cerrado. *R. Plantio Direto*, maio/junho: 52-60, 1998.
- LUZ, P.H.C. Determinação do ângulo de repouso de fertilizantes e corretivos. Disciplina: técnicas alternativas para o fornecimento de nutrientes para as plantas (LSO-580). Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1997. 8p.
- NÖMMIK, H. & NILSSON, K.O. Nitrification and movement of anhydrous ammonia in soil. *Acta Agric. Scand.*, 13:205-219, 1963.
- OLIVEIRA, M.W.; GAVA, G.J.C.; VITTI, A.C.; BENDASSOLI, J.A. & TRIVELIN, P.C.O. Volatilização de amônia proveniente da uréia (¹⁵N) aplicada em um solo cultivado com cana-de-açúcar. In: ENCONTRO CIENTÍFICO DE PÓS-GRADUANDOS DO CENA/USP, 3., Piracicaba, 1997. Anais, Piracicaba, Universidade de São Paulo, 1997. p.28.
- PINNA, J.C. & VALDÍVIA, S.V. Nitrogen volatilization from urea applied as a top dressing or buried in calcareous sugarcane soils. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGARCANE TECHNOLOGISTS, 17., São Paulo, 1977. Proceedings. São Paulo, Impress, 1978. v.2. p.1455-61.
- RAIJ, B. van; GUAGGIO, J.A. & CANTARELLA, H. Análise química do solo para fins de fertilidade. Campinas, Fundação Cargill e Instituto Agrônomo, 1987. 170p.
- RAO, A.C.S.; SMITH, J.L.; PARR, J.F. & PAPENDICK, R.I. Considerations in estimating nitrogen recovery efficiency by the difference and isotopic dilution methods. *Fer.Res.*, 33:209-217, 1992.
- SAUCHELLI, V. *Chemistry and technology of fertilizers*. New York, Reinhold, 1960. 692p.
- SENGIK, E. Efeito de resíduos orgânicos e de sais inorgânicos na volatilização de amônia em solo tratado com uréia. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1993. 136p. (Tese de Doutorado)
- STANGEL, P.J. World nitrogen situation, trends, outlook, and requirements. In: HANCK, R.D., ed. *Nitrogen in crop production*. Madison, American Society Agronomy, 1984. p.23-54.
- TENNESSEE VALLEY AUTHORITY - TVA. Procedures for determining physical properties of fertilizers. Alabama, Muscle Shoals, 1970.17p. (Special reports, 5444)
- VILLAS BÔAS, R.L. Recuperação do nitrogênio da uréia pelo milho: efeito da mistura com sulfato de amônio, da dose e do modo de aplicação. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1995. 128p. (Tese de Doutorado)
- VITTI, G.C. Avaliação e interpretação do enxofre no solo e na planta. Jaboticabal, Fundação de Estudos e Pesquisas em Agronomia, Medicina Veterinária e Zootecnia, 1988. 37p.
- VITTI, G.C.; FAVARIN, J.L.; RESENDE, L.O.; & TREVISAN, W. Manejo do nitrogênio em diversos sistemas de produção agrícola. Piracicaba, Serrana/FEALQ/GAPE, 1999. 38p.
- VOLK, G.M. Volatile loss of ammonia following surface application of urea to turf on base soils. *Agron. J.*, 51:746-749, 1959.
- WATSON, C.J. The comparative effect of a mixed urea, ammonium nitrate, ammonium sulphate granular formulation on the efficiency of N recovery by perennial ryegrass. *Fert. Res.*, 14:193-204, 1987.
- WATSON, C.J. An assessment of granular urea/ammonium sulphate and urea/potassium nitrate fertilizers on nitrogen recovery by ryegrass. *Fert. Res.*, 18:19-29, 1988.
- WOOD, A.W. Management of crop following green harvesting of sugarcane in North Queensland. *Soil & Till. Res.*, 20:69-85, 1991.

