



Eficiência Agronômica do Cloreto de Amônio e Bicarbonato de Amônio Como Fontes de Nitrogênio Para a Cultura do Milho¹

Antônio Marcos Coelho²

Bruno N. Ribeiro³

Fabiano A. Resende⁴

Giselle K. P. Teixeira³

Introdução

Fontes alternativas de fertilizantes nitrogenados são disponíveis, como, por exemplo, o cloreto de amônio e o bicarbonato de amônio. Por ser um fertilizante amoniacal, tem-se assumido que o bicarbonato de amônio apresenta o mesmo tipo de comportamento no solo desse grupo de fertilizantes e requer, portanto, as mesmas recomendações e restrições de utilização (Oliveira et al., 1999). Entretanto, comparativamente com outras fontes de nitrogênio, é provável que o bicarbonato de amônio, devido à sua forma $[(NH_4)_2CO_3]$, apresente menor eficiência e maior potencial de perdas de N por volatilização de amônia (NH_3). Isto se deve ao fato de que, sendo o bicarbonato de amônio um produto instável, ele é facilmente desdobrado em NH_3 e CO_2 . Por exemplo, a transformação da uréia no solo leva à formação

intermediária de bicarbonato de amônio. Entretanto, a uréia está na forma amídica $[CO(NH_2)_2]$ e necessita ser hidrolisada para se transformar em bicarbonato de amônio. Tem-se verificado que a duração da taxa de hidrólise da uréia é de 10 a 14 dias após sua aplicação no solo (Tomar et al., 1986). Assim, a taxa de hidrólise da uréia pode influenciar a intensidade de perdas de NH_3 . Nesse espaço de tempo, a ocorrência de chuvas possibilita a incorporação da uréia no solo, reduzindo ou mesmo eliminando as perdas por volatilização de NH_3 . Esta é uma importante característica que a diferencia do bicarbonato de amônio com relação ao potencial de perdas de N por volatilização e, conseqüentemente, na sua eficiência agronômica.

Para avaliar a eficiência agronômica do bicarbonato de amônio e do cloreto de amônio em relação à uréia, em diferentes métodos de aplicação, na superfície e incorporados no solo, para o milho cultivado no sistema

¹Parcialmente financiado pela Raudi Indústria e Comércio Ltda. ²Engenheiro Agrônomo, PhD em Solos e Nutrição de Plantas, Embrapa Milho e Sorgo, Cx. Postal 151, Sete Lagoas, MG, Email: amcoelho@cnpmc.embrapa.br; ³Estudantes de Agronomia da UFV, Viçosa, MG; ⁴Estudante de Agronomia da FAZU, Uberaba, MG. ^{3,4}Estagiários da Embrapa Milho e Sorgo.

de plantio direto, um experimento foi conduzido na Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, MG, em um Latossolo Vermelho, textura argilosa, em sistema de plantio direto, com as seguintes características químicas na camada superficial (20 cm): $\text{pH}_{(\text{água})} = 6,09$; $\text{Ca}^{2+} = 2,87 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$; $\text{Mg}^{2+} = 0,71 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$; $\text{K}^+ = 0,11 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$; $\text{P} = 8,20 \text{ mg}/\text{dm}^3$; $\text{V} = 50 \%$ e $\text{M.O.} = 2,75 \%$. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com três repetições e dez tratamentos, conforme especificado na Tabela 1. O delineamento utilizado foi o de parcelas subdivididas, dispondo, nas parcelas, as fontes de nitrogênio e, nas subparcelas, os métodos de aplicação. Cada subparcela foi constituída por seis linhas espaçadas 0,70m e 6 m de comprimento (6,0 x 4,2 m). O milho híbrido simples BRS1010 foi semeado mecanicamente, em 25/11/2003, regulando-se a semeadora para distribuir de seis a sete sementes/m. A adubação de semeadura foi realizada de acordo com a análise de solo e recomendações para a cultura, aplicando-se 400 kg/ha do fertilizante 5 – 20 – 20 + 0,3 % de N, P_2O_5 , $\text{K}_2\text{O} + \text{Zn}$, respectivamente. O N, na dose de 120 kg ha⁻¹, foi aplicado em cobertura, quando as plantas apresentavam-se com cinco a seis folhas, utilizando as fontes e métodos descritos na Tabela 1.

Durante o desenvolvimento do milho, correspondendo aos estádios de dez folhas, florescimento feminino e

grão leitoso, foi determinado o teor de clorofila em folhas de 20 plantas de cada subparcela, utilizando o método do clorofilômetro. Aproximadamente 20 dias após a aplicação do N em cobertura, amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0 a 10 cm e 10 a 30 cm para análises do pH, condutividade eletrolítica (CE), amônio (NH_4) e nitrato (NO_3). Na colheita, número de plantas e espigas, peso de plantas e produção de grãos foram avaliados. Amostras de material de plantas e grãos foram coletados para determinação da matéria seca (65°C) e concentração de nitrogênio. Foram monitorados dados meteorológicos (precipitação, temperatura, evapotranspiração tanque classe A). Esses dados foram utilizados para o cálculo do balanço da água no solo, possibilitando quantificar a ocorrência de déficit hídrico ao longo do ciclo da cultura.

A estimativa do balanço de água no solo indicou que, durante o ciclo de desenvolvimento do milho, foi contabilizado um déficit hídrico correspondendo a 12,8 % da necessidade total de água (412 mm) requerida pela cultura. Esse déficit ocorreu nos períodos de 12 a 21/12/2003 e 27/01 a 01/02/2004, correspondendo, respectivamente, às fases de desenvolvimento vegetativo e florescimento. Nessas condições, e independente dos tratamentos utilizados, as produtividades de grãos variaram de 4,73 a 10,36 t/ha, com média geral de $7,12 \pm 1,28 \text{ t/ha}$.

Tabela 1.- Relação dos tratamentos envolvendo manejo de fontes de N em milho, na dose de 120 kg ha⁻¹, aplicada em cobertura.

Tratamentos	Fontes de Nitrogênio	N ¹ (%)	Métodos de aplicação ²
01	Uréia (granulada)	44,91	Localizado superfície (LS)
02	Uréia		Lanço na superfície (L)
03	Uréia		Localizado incorporado (LI)
04	Bicarbonato de amônio (pó)	18,48	Localizado superfície (LS)
05	Bicarbonato de amônio		Lanço na superfície (L)
06	Bicarbonato de amônio		Localizado incorporado (LI)
07	Cloreto de amônio (cristal)	31,36	Localizado superfície (LS)
08	Cloreto de amônio		Lanço na superfície (L)
09	Cloreto de amônio		Localizado incorporado (LI)
10	Testemunha		Sem aplicação de N

¹Teores de N-total de acordo com análises realizadas no Laboratório da Embrapa Milho e Sorgo. ²Aplicação em cobertura quando as plantas apresentavam de cinco a seis folhas desenvolvidas.

Condutividade eletrolítica, pH, amônio e nitrato no solo

No estudo da eficiência agrônômica de fontes de nitrogênio na cultura do milho, além da produção de grãos, várias outras informações relevantes devem ser consideradas para uma melhor interpretação das relações de causa e efeito. Devido ao fato de que as fontes de nitrogênio utilizadas apresentam fórmulas químicas diferentes (Tabela 1), suas reações podem alterar algumas propriedades do solo. Dentre as propriedades de maior importância, foram avaliadas o pH (relação solo/água 1:2), como um indicador da acidificação do solo causada pelas fontes de nitrogênio; a condutividade eletrolítica do solo (relação solo/água 1:2), como um indicador do potencial de lixiviação e os teores de amônio e nitrato, como um indicativo das transformações do N no solo e potencial de perdas por lixiviação. Os resultados das propriedades avaliadas são apresentados na Tabela 2.

Um aspecto importante é que, em um solo argiloso, com alta capacidade tampão, isto é, maior resistência à alteração do pH, foi possível, já no primeiro ano, verificar pequenas mas significativas diferenças nos valores de

pH devido ao efeito das fontes de N e métodos de aplicação (Tabela 2). Dentre as fontes de N, o cloreto de amônio, seguido da uréia, apresentou, em relação ao tratamento testemunha, maior redução nos valores de pH. Por outro lado, a aplicação do bicarbonato de amônio não alterou o valor do pH do solo, apresentando resultado similar ao da testemunha (Tabela 2). Com relação aos métodos de aplicação, a maior redução nos valores de pH foi observada para o tratamento em que as fontes de N foram aplicadas de modo localizado e incorporadas próximo às fileiras de milho (Tabela 2). Nessa condição, há, em relação ao método de aplicação a lanço, maior concentração localizada do fertilizante, como maior potencial de alteração do pH. Devido à grande variação nos valores de CE, como indicado pelo coeficiente de variação (CV = 73 %), não foram detectados efeitos significativos dos tratamentos (Tabela 2). Entretanto, esses valores são relativamente baixos, o que, do ponto de vista de fertilidade do solo, não causa maiores problemas. Outra observação importante é a predominância de amônio (NH_4) sobre nitrato (NO_3) no período de 20 dias após a aplicação das fontes de nitrogênio (Tabela 2), indicando um retardamento do processo de nitrificação. Esses

Tabela 2. Valores de pH, condutividade eletrolítica (EC), amônio (NH_4) e nitrato (NO_3), no solo.

Tratamentos	pH (H_2O)	$\text{EC}_{\text{H}_2\text{O}}$ (mmho/cm)	NH_4 (mg/kg)	NO_3 (mg/kg)
Fontes de nitrogênio				
Uréia	5,91a ¹	0,400a	22,91a	4,59a
Bicarbonato de amônio	6,02b	0,198a	6,08a	1,19b
Cloreto de amônio	5,61c	0,357a	18,09a	11,84c
Métodos de aplicação				
Localizado superfície	5,87b	0,474a	16,67a	6,51b
Localizado incorporado	5,64c	0,364a	23,41a	11,35a
Lanço na superfície	5,86b	0,243a	10,88a	4,60b
Profundidade do solo				
0 – 10 cm	5,84a	0,329a	17,12a	6,44a
10 – 30 cm	5,85a	0,307a	14,26a	5,21b
Testemunha	6,01a	0,192a	9,80a	1,00c
Média geral	5,85	0,318	15,70	5,86
CV (%)	2,51	73	116	36

¹Médias dentro das colunas, seguidas da mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade.

resultados estão de acordo com observações anteriores de experimentos realizados por Mello Jr. et al. (1994) e Coelho (1995), os quais verificaram que, em solos de cerrado, o processo de nitrificação não é tão rápido, prolongando a permanência do N na forma amoniacal, o que contribui para a redução das perdas por lixiviação de nitrato.

Índice de clorofila na folha

O medidor portátil de clorofila SPAD 502, que permite leituras instantâneas da cor verde da folha (valor correspondente ao teor de clorofila), sem destruí-la, surgiu como uma alternativa para avaliar o nível de N na planta. Essa técnica tem sido útil, porque o conteúdo de clorofila tem apresentado alta correlação com a concentração de N na folha (Varvel et al., 1997). Os métodos de aplicação das fontes de nitrogênio, assim como o estágio de desenvolvimento do milho, afetaram significativamente os índices de clorofila na folha (Figura 1ab).

Verificou-se uma interação significativa ($P \leq 0,05$) de fontes e métodos de aplicação para os índices de clorofila na folha, sendo que, para o bicarbonato de amônio, houve redução nos valores com sua aplicação na superfície (Figura 1a). Para a uréia e o cloreto de amônio, as diferenças observadas foram, principalmente, em relação ao tratamento testemunha,

com os métodos apresentando valores similares (Figura 1a). Interação também significativa ($P \leq 0,05$) foi observada para métodos de aplicação do N e épocas de desenvolvimento do milho nos índices de clorofila na folha, com o método de aplicação na superfície apresentando menores valores, principalmente, no estágio de grão leitoso (Figura 1b). Considerando valores na faixa de 50 a 55 como o índice de suficiência do conteúdo de clorofila na folha do milho para altas produtividades, verificou-se que os tratamentos em que o cloreto de amônio e a uréia foram utilizados como fonte de N apresentaram valores dentro da faixa mencionada (Figura 1a), tendo o tratamento com bicarbonato de amônio, aplicado na superfície do solo, valores inferiores, um indicativo de menor eficiência dessa fonte de nitrogênio.

Componentes da produção e resposta do milho a fontes e aos métodos de aplicação de nitrogênio

Os dados referentes ao número de plantas, índice de espigas e produção de grãos, assim como peso de mil grãos e N absorvido pelo milho, em função dos diferentes tratamentos, encontram-se na Tabela 3. Verificaram-se efeitos significativos ($P \leq 0,05$) das fontes de nitrogênio sobre a produção de grãos, peso de mil grãos e N absorvido. Os métodos de aplicação das fontes de N tiveram efeitos significativos ($P \leq 0,01$) sobre

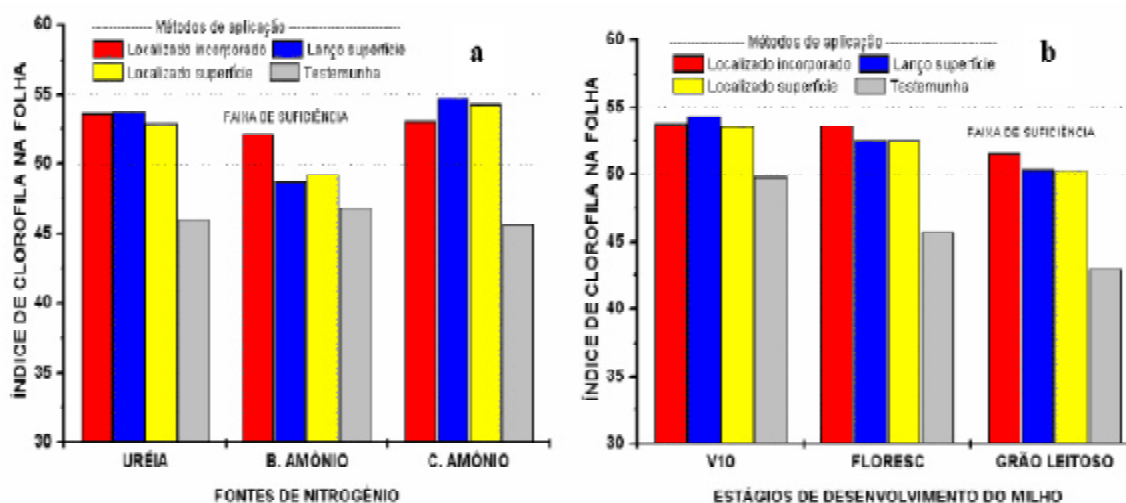


Figura 1. Índices de clorofila na folha em função das fontes e métodos de aplicação de nitrogênio (a) e em diferentes fases de desenvolvimento do milho (b).

Tabela 3. Efeito das fontes e métodos de aplicação de nitrogênio nos componentes da produção do milho.

Fonte de nitrogênio	Método ¹ de aplicação	Número de plantas (1.000/ha)	Índice de espigas	Produção de grãos (t/ha)	Peso de mil grãos (gramas)	N - total absorvidos (kg/ha)
		Média de fontes ²				
Uréia		60,17a	0,95a	7,07b	339b	105,04a
B. de amônio		59,87a	0,94a	6,56b	331b	90,40b
C. de amônio		60,96a	0,98a	7,72a	357a	114,13a
		Média de métodos ³				
	LS	59,32a	0,95ab	6,88b	342ab	104,23a
	LI	61,90a	0,99a	7,97a	344ab	114,92a
	L	60,51a	0,99a	7,78a	358a	117,48a
Testemunha		59,59a	0,89b	5,85c	324b	76,13b
Média geral		60,33	0,96	7,12	342	103,19
CV (%)		6,51	5,52	8,74	4,69	10,63

¹LS = localizado superfície; LI = localizado incorporado; L = lanço. ^{2e3}Médias dentro das colunas, seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

todas as variáveis avaliadas, exceto para o número de plantas/ha (Tabela 3). Independente do método de aplicação, a maior produtividade de milho foi obtida com a aplicação do cloreto de amônio, sendo que a uréia e o

bicarbonato de amônio apresentaram produtividades similares, porém superiores à testemunha (Tabela 3, Figura 2). Independente da fonte de N, as aplicações localizada incorporada e a lanço, na superfície do solo,

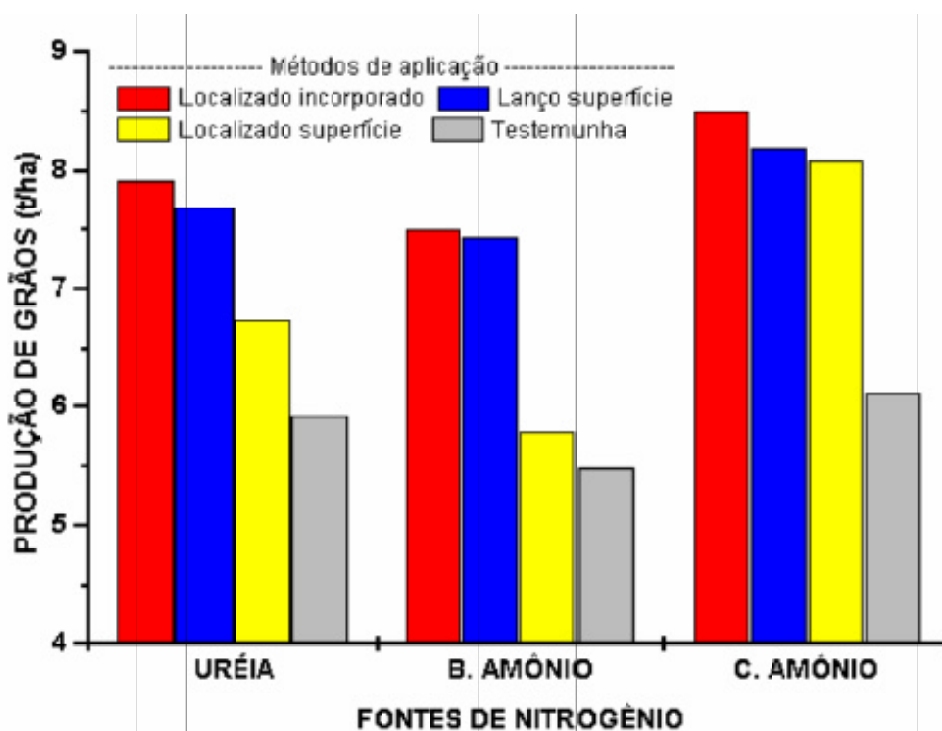


Figura 2. Efeito de fontes e métodos de aplicação de nitrogênio na produção do milho

proporcionaram produtividades de milho significativamente superiores à aplicação localizada na superfície do solo, sendo as diferenças mais acentuadas para a uréia e bicarbonato de amônio (Tabela 3, Figura 2). É provável que, para essas duas fontes, a aplicação localizada, na superfície do solo, potencialize as perdas por volatilização de amônia, devido a um aumento na concentração de fertilizante, o que não ocorre quando estas são aplicadas a lanço na superfície do solo.

Observou-se uma pequena redução no pH do solo com a aplicação de uréia e cloreto de amônio. As fontes de nitrogênio utilizadas, uréia, bicarbonato de amônio e cloreto de amônio, diferiram em seus efeitos na produção de grãos. O bicarbonato de amônio apresentou eficiência agrônômica inferior à da uréia, quando aplicado na superfície do solo. A uréia e o bicarbonato de amônio apresentam eficiência agrônômica inferior à do cloreto de amônio, quando aplicados na superfície do solo, em sistema de plantio direto, sendo a eficiência dessas fontes similares quando incorporadas no solo. Os métodos de aplicação afetaram a eficiência agrônômica das fontes de N. As aplicações localizada incorporada (± 5 cm) e a lanço, na superfície, mostraram-se como os métodos mais eficientes.

Literatura citada

COELHO, A.M. Efeito de níveis de N-uréia na dinâmica de amônio e nitrato em latossolo cultivado com milho irrigado. In: CONGRESSO NACIONAL DE LA CIENCIA DEL SOLO, 7., 1995, Temuco. **VII CONACISU: [Resumen]**... Temuco: Universidad de la Fontera: Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, 1995. p. 6.

MELLO JUNIOR, A. V.; COELHO, A. M.; ALBUQUERQUE, P. E. Níveis de água e nitrogênio na movimentação e recuperação do N em latossolo cultivado com trigo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21., 1994, Petrolina. **Anais...** Petrolina: SBCS: EMBRAPA-CPATSA, 1994. p. 275-277.

OLIVEIRA, F. A.; BERNARDI, A. C. C.; BITTENCOURT, V. C.; CAMARGO CARMELLO, Q. A. Adubação de soqueira de cana-de-açúcar com soluções de carbonato/bicarbonato de amônio em misturas com sais de potássio e de fósforo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 1027-1033, out/dez. 1999.

TOMAR, J. S.; KIRBY, P. C.; MACKENZIE, A. F. Field evaluation of the effects of urease inhibitor and crop residues on ureia hidrolisis, ammonia volatilization and yield of corn. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.65, n.4; p.777-787, 1985.

VARVEL, G. E.; SCHEPERS, J. S; FRANCIS, D. D. Chlorophyll meter and stalk nitrate techniques as complementary indices for residual nitrogen. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 10, p.147-151, 1997.

Comunicado Técnico, 136

Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento



Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:
Embrapa Milho e Sorgo
Endereço: Rod. MG 424 Km 45 Caixa Postal 151
CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG
Fone: (31) 3779 1000
Fax: (31) 3779 1088
E-mail: sac@cnpmis.embrapa.br

1ª edição
1ª impressão (2006): 200 exemplares

Comitê de publicações

Presidente: Antônio Álvaro Corsetti Purcino
Secretária-Executiva: Cláudia Teixeira Guimarães
Membros: Camilo de Lélis Teixeira de Andrade, Carlos Roberto Casela, Flávia França Teixeira, José Hamilton Ramalho, Jurandir Vieira Magalhães

Expediente

Revisão de texto: Dilermando Lúcio de Oliveira
Editoração eletrônica: Dilermando Lúcio de Oliveira