

ADUBAÇÃO NITROGENADA DA CULTURA DO MILHO

Antonio de Pádua Cruz¹

Waldo A. R. Lara
Cabezas²

INTRODUÇÃO

Tudo que se falar sobre o nitrogênio na adubação das plantas cultivadas acabará conduzindo a lugares comuns, inclusive que “o nitrogênio é o elemento mais estudado e menos conhecido”. Esse fato se justifica pela extrema complexidade da dinâmica desse elemento no sistema solo-planta-atmosfera, que dificulta o estabelecimento de modelos matemáticos que permitam recomendações seguras e generalizadas para o seu manejo, visando a máxima produção econômica das culturas.

Se não bastasse a complexidade das transformações do nitrogênio no solo, as quais, via de regra, resultam no baixo aproveitamento do nitrogênio dos fertilizantes pelas plantas, deve-se considerar também os aspectos econômicos, visto que dentre os macronutrientes primários (N, P e K) o nitrogênio é o que apresenta, comparativamente, o custo mais elevado, e por essa razão o aumento da eficiência da adubação nitrogenada é fundamental para o sucesso da exploração agrícola. Nesse contexto, os fatores determinantes do sucesso da adubação nitrogenada são: a) dose de N a ser aplicada; b) época de aplicação; c) localização do adubo; d) fonte de N a ser aplicada.

¹ Eng.Agr. M.Sc., Gerente Técnico do SN-Centro de Pesquisa e Promoção do Sulfato de Amônio Ltda., Av.Independência, 546 cj. 31/32, CEP 13416-720, Piracicaba (SP). E-mail: sncentro@merconet.com.br

² Professor Visitante, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Caixa Postal 593, CEP 38406-067 Uberlândia (MG). E-mail: waldolar@ufu.br . Bolsista do CAPES.

Em recente levantamento sobre as principais dúvidas com relação ao sistema de plantio direto, realizado com cerca de 1.800 agricultores de todas as regiões do país, verificou-se que o manejo dos fertilizantes nitrogenados foi uma das principais questões levantadas pelos entrevistados (Lara Cabezas, 2001 – comunicação pessoal).

Não obstante o grande número de trabalhos publicados sobre adubação nitrogenada da cultura do milho, no sistema plantio direto (SPD), algumas dúvidas persistem, justamente porque a adoção do sistema, ao aumentar a diversidade e atividade microbiana do solo, afeta diretamente a eficiência dos fertilizantes nitrogenados. Além disso, parece não existir dúvidas de que a adubação nitrogenada é muito específica para cada local, exigindo que os trabalhos de pesquisa sejam conduzidos e interpretados levando-se em consideração a interação entre os processos bioquímicos de transformação do nitrogênio, no sistema solo-planta, e as condições edafo-climáticas do local, ao longo do tempo. Esse deveria ser o enfoque a ser dado em todos os projetos de pesquisa que visem realmente encontrar respostas consistentes e seguras com relação ao manejo desse elemento, que por diversas razões pode ser considerado o nutriente mais importante para as plantas cultivadas.

Nesta apresentação discutiremos alguns fatores que afetam a eficiência da adubação nitrogenada na cultura do milho, no sistema plantio direto (SPD), com ênfase na época de aplicação do nitrogênio.

Esta apresentação foi preparada, principalmente, com base no projeto de pesquisa intitulado **“Imobilização do Nitrogênio da Uréia e do Sulfato de Amônio Aplicado em Pré ou Pós-Semeadura na Cultura do Milho, no Sistema de Plantio Direto”**, o qual vem sendo conduzido pelo Prof. Lara Cabezas, da Universidade Federal de Uberlândia.

Por essa razão, discutiremos a seguir, de forma sucinta, apenas os aspectos ligados à quantidade de nitrogênio a ser aplicada e a época de aplicação dos fertilizantes nitrogenados na cultura do milho, no SPD.

QUANTO DE NITROGÊNIO SE DEVE APLICAR?

O nitrogênio é o nutriente mais exportado pela cultura do milho, como pode-se verificar na Tabela 1, de Büll (1993), citado por Yamada (1996).

Segundo Yamada (1996), as recomendações na faixa de 15 a 20 kg de N por tonelada de grãos parecem ser bem coerentes, se considerarmos somente a reposição do elemento exportado nos grãos.

Embora existam inúmeros trabalhos de pesquisa referentes à resposta da cultura do milho às doses de nitrogênio, a interpretação desses resultados exige que sejam considerados alguns fatores como: responsividade do material genético, condições edafoclimáticas, sistema de cultivo (SPD e sistema convencional - SC), época de semeadura (milho safra e safrinha, rotação de culturas, aspectos econômicos, operacionalização, época de aplicação, modo de aplicação e fontes de nitrogênio empregadas. Isso tudo confirma a regra de que as recomendações de nitrogênio devem ser cada vez mais específicas e não generalizadas.

Tabela 1. Conteúdo de nutrientes na parte aérea da cultura de milho e exportação dos mesmos através da produção de 9.100 kg de grãos.

Nutriente	Absorção	Exportação	
	kg.ha ⁻¹	kg.ha ⁻¹	%
Nitrogênio	190	129,2	68
Fósforo	39	30,9	80
Potássio	196	39,1	20
Cálcio	40	0,9	4
Magnésio	44	10,9	26
Enxofre	21	11,8	58
	g.ha ⁻¹	g.ha ⁻¹	%
Ferro	2.110	110,1	5
Manganês	340	60,0	17
Cobre	110	20,0	20

Zinco	400	200,2	50
Boro	170	40,0	25
Molibdênio	9	6,3	63

Fonte: Büll (1993), citado por Yamada (1996).

Como critérios para recomendação a serem avaliados, em condições específicas, parece-nos adequado considerar a técnica da estimativa das necessidades de nitrogênio para culturas, proposta por Stanford & Legg, citados por Stipp & Yamada (1988), onde temos que:

$$N_f = (N_y - N_s) \cdot E_f^{-1}$$

Sendo que:

N_f corresponde à quantidade de nitrogênio requerida pela planta.

N_y representa a quantidade de nitrogênio que pode ser acumulada na matéria seca da parte aérea da planta, para uma determinada produção de grãos [é determinado de forma empírica com dados obtidos em diferentes condições edafo-climáticas. Segundo Stipp & Yamada (1988), experimentos mostraram coeficientes de correlação altamente significativos variando de 0,81 a 0,89].

N_s representa o nitrogênio suprido pelo solo (determinado pela quantidade de nitrogênio da parte aérea das parcelas que não receberam adubação nitrogenada).

E_f é o fator de eficiência ou aproveitamento do fertilizante pela planta (calculado em função do aumento do conteúdo de nitrogênio da parte aérea por unidade de fertilizante aplicado. Na literatura, em geral esses valores variam de 0,5 a 0,7).

Com base na técnica da necessidade de nitrogênio para as culturas, encontra-se na Tabela 2 o balanço médio do N na cultura do milho, nos EUA, proposto por David Mengel, citado por Yamada (1996).

Tabela 2. Balanço médio do N na cultura do milho nos EUA.

Necessidade da cultura para produzir

Grãos: 10.000 kg.ha ⁻¹ x 1,4% de N.....	140 kg
Palhada: 10.000 kg.ha ⁻¹ x 1,1% de N.....	<u>110 kg</u>
Total	250 kg.ha ⁻¹

Fornecimento pelo solo

3% M.O. solo; 20 kg de N por 1% de M.O.....	60 kg
Resíduo da cultura, 30% do N da palhada	<u>33 kg</u>
Total	93 kg.ha ⁻¹

Necessidade de adubação

$$N = (250 - 93) / 0,75 * \dots\dots\dots 210 \text{ kg.ha}^{-1}$$

* fator de eficiência do N = 75%

Fonte : Yamada (1996)

Utilizando-se desses conceitos e considerando a necessidade de restituição dos nutrientes exportados pela culturas da soja e do milho, Spolidorio (2001) estimou um balanço de nitrogênio para o sistema soja- milho safrinha na região de Maracaju-MS, conforme apresentado na Tabela 3.

Esse balanço teórico nos mostra que, mesmo no SPD e incluindo uma leguminosa na sucessão de culturas, o saldo de nitrogênio no sistema é deficitário, o que mostra a importância do conceito de “adubação do sistema” e não somente da cultura. Obviamente os estudos nesse campo devem avançar cada vez mais e somente a utilização do isótopo ¹⁵N, nos ensaios de campo,

vai permitir o acompanhamento real das adições e perdas de nitrogênio nos diversos sistemas de cultivo.

Tabela 3. Balanço teórico do nitrogênio na sucessão soja-milho safrinha, em SPD, na região de Maracaju-MS, com produtividade de 50 sacas de soja e 75 sacas de milho por hectare.

Quantidade de nitrogênio absorvida pelas culturas	kg N.ha⁻¹
N exportado nos grãos de soja	182
N exportado nos grãos de milho	65
Total de N exportado nas colheitas (soja + milho)	247
Quantidade de nitrogênio fornecida pelo sistema, no ciclo soja-milho safrinha	
N da matéria orgânica do solo (2% M.O.)	40
N mineralizado da palhada do milho	16
N mineralizado da palhada da soja	38
N da adubação do milho “safrinha”	20
N da atmosfera (fixação não biológica)	10
Total de N fornecido pelo sistema, por ciclo (soja-milho safrinha)	124
Balanço (N fornecido – N exportado)	- 123

COMO E QUANDO APLICAR OS ADUBOS NITROGENADOS?

Essa parece ser a grande questão quanto ao manejo dos fertilizantes nitrogenados na cultura do milho, devido às incertezas sobre o comportamento do fertilizante aplicado e a disponibilidade do nitrogênio do solo (Ceretta, 1997).

Aplicações da ordem de 30 a 40 kg de N.ha⁻¹ podem ser realizadas no sulco de plantio, sem causar problemas no “stand” da

cultura (Lara Cabezas, 2001 – comunicação pessoal). Doses superiores a 40 kg.ha^{-1} podem causar problemas de “stand” e queda de produtividade, como atestam os resultados obtidos por Fernandes et al. (1999).

Broch (comunicação pessoal, 1999) obteve redução de 36% no número de plantas por hectare quando foram aplicados 200 kg.ha^{-1} do fertilizante 19-10-19, no sulco de semeadura do milho.

A questão então é a seguinte: se necessitamos aplicar doses superiores a 140 kg.ha^{-1} e não devemos aplicar doses superiores a 40 kg.ha^{-1} de N na semeadura, como e quando devemos aplicar os 100 kg.ha^{-1} de N (ou mais) que faltam para atender às exigências da cultura?

Tradicionalmente, a complementação da adubação nitrogenada, na cultura do milho, é feita através de aplicações de cobertura, onde a época de aplicação é estabelecida, normalmente, levando-se em consideração aspectos operacionais e climáticos (Ceretta, 1997). Como se sabe, existe a clássica recomendação de se aplicar 1/3 da dose de N no plantio e 2/3 em uma ou duas aplicações de cobertura, quando as plantas estiverem com 40 a 60 cm de altura. Ou então, com base nos estádios fenológicos da cultura, ou seja, quando as plantas estiverem com 4 a 8 folhas (Fancelli & Dourado Neto, 1996) ou com 6 a 8 folhas totalmente desdobradas (Vitti & Favarin, 1997, citados por Ceretta, 1997).

O crescimento das áreas cultivadas no SPD – prática esta apontada por Fancelli (1997) como uma das soluções mais inteligentes e racionais para o aumento da eficiência da agricultura brasileira, principalmente no Cerrado – permite (ou até exige) que as épocas de aplicação de nitrogênio, tradicionalmente recomendadas para a cultura do milho no sistema convencional, sejam revistas.

O primeiro ponto a ser considerado é que a ausência de revolvimento do solo, no plantio direto, aumenta significativamente a quantidade de matéria orgânica, principalmente porque as taxas de decomposição são menores que no sistema convencional (Sá, 1996). Além disso, principalmente nos primeiros anos após a implantação do plantio direto, a atividade microbiana do solo cresce

significativamente e se a cultura de inverno for uma gramínea (antecessora ao milho), a relação C/N do sistema aumenta, fazendo com que haja uma redução na quantidade das formas de nitrogênio prontamente disponíveis para a planta. Essa é a principal razão pela qual vários autores têm avaliado a antecipação da adubação de cobertura e até mesmo a aplicação em pré-semeadura, como é o caso dos trabalhos de Sá (1995), Ceretta & Fries (1998), Basso (1999) e Pauletti (1999).

A alternativa de se aplicar o N em pré-semeadura do milho tem despertado grande interesse porque, além de evitar a imobilização temporária do N do fertilizante, apresenta algumas vantagens operacionais, como maior flexibilidade no período de execução da adubação, racionalização do uso das máquinas e mão-de-obra e redução do custo de aplicação (Ceretta, 1997).

Porém, devido à extrema complexidade da dinâmica do nitrogênio no solo, a qual é fortemente influenciada pelas variáveis ambientais, os resultados de experimentos de campo não são consistentes o bastante para que se possa fazer essa recomendação. Assim, por exemplo, na Tabela 4, temos os resultados dos experimentos conduzidos por Basso (1999), em Santa Maria, RS, nas safras 96/97 e 97/98, onde verifica-se que no ano em que a pluviosidade foi mais elevada (550 mm de chuva em Outubro/97 e 350 mm em Novembro/97) a aplicação do N em pós-semeadura foi melhor que em pré-semeadura. Na safra anterior, onde a precipitação foi menor, as melhores produtividades foram obtidas com a aplicação de 60, 30 e 30 kg.ha⁻¹ de N e com a aplicação de 90, 30 e zero kg.ha⁻¹ de N, respectivamente em pré-semeadura, semeadura e pós-semeadura.

Visando avaliar a importância da imobilização do N aplicado em pré e pós-semeadura, em relação à assimilação pela cultura do milho no SPD, em condições de campo, na região do Triângulo Mineiro, Lara Cabezas et al. (2001) conduziram um experimento de campo onde, utilizando-se da técnica do adubo marcado com ¹⁵N, avaliou-se o N-imobilizado no solo, o N- mineral do fertilizante no solo, o N-solo e N-fertilizante absorvido pela planta e a produtividade da cultura do milho, adubada com uréia ou sulfato de amônio.

Tabela 4. Rendimento de grãos de milho sob diferentes resíduos de cobertura e época de aplicação de N, nas safras 96/97 e 97/98 (adaptada de Basso, 1999).

N aplicado			Cobertura de inverno		
PS ⁽¹⁾	SE	CO	Aveia Preta	Aveia + Ervilhaca	Nabo Forrag.
kg.ha ⁻¹					
Safrá 96/97					
0	0	0	5.616	6.639	6.017
0	30	90	6.804	7.122	6.984
30	30	60	6.867	6.786	6.767
60	30	30	7.756	7.450	7.229
90	30	0	7.230	7.567	6.853
Safrá 97/98					
0	0	0	2.812	4.430	2.678
0	30	90	5.786	5.345	5.542
30	30	60	5.174	5.546	5.313
60	30	30	4.322	4.971	4.825
90	30	0	3.647	3.628	4.496

⁽¹⁾ PS = pré-semeadura, SE = semeadura, CO = cobertura. Adubação de pré-semeadura realizada aos 27 e 23 dias antes da semeadura; cobertura realizada no estádio de 4-6 folhas.

O experimento foi conduzido na Fazenda Floresta do Lobo – Pinusplan, no município de Uberlândia-MG, entre os meses de abril de 1999 e março de 2000. No inverno foi cultivada a aveia-preta (*Avena strigosa*) e no verão subsequente foi cultivado o milho, sendo utilizado o milho híbrido simples, precoce “Tork”, da Aventis Seeds. A área havia sido cultivada com soja e milho de forma alternada nas safras 96/97 e 98/99, com sorgo granífero no inverno de 1997, permanecendo em pousio no inverno de 1998.

Em abril de 1999 foi semeada a aveia-preta na área total do experimento, com espaçamento de 0,5 m e sem adubação. Com intervalos de 20 dias, a partir da semeadura, foram efetuadas sete amostragens da parte aérea das plantas para determinação da

produção de matéria seca. Mais quatro determinações da resteva de superfície (resíduos da aveia-preta + restos da soja da safra 98/99) foram feitas no período que antecedeu a semeadura do milho, até a colheita.

Na Tabela 5 encontram-se as principais características químicas do Latossolo Vermelho-Escuro, muito argiloso (72% de argila), onde foi realizado o experimento.

Tabela 5. Principais características químicas do solo da área experimental⁽¹⁾.

Profundidade	pH	M.O.	P	K	Ca	Mg	CTC
	em H ₂ O	g.dm ⁻³	-----mg.dm ⁻³ -----		-----mmol _c dm ⁻³ -----		
0-10 cm	5,5	43	9,7	110,5	21,0	10,0	59,5
10-20 cm	5,1	40	11,6	55,4	17,0	6,0	64,6

⁽¹⁾ A saturação por bases da camada 0-10 cm foi de 56% e a da camada 10-20 cm foi de 37%.

Utilizando-se o delineamento inteiramente casualizado, com parcelas subdivididas, foram aplicados os tratamentos, conforme apresentado na Tabela 6. Cada parcela foi constituída de 14 linhas de milho, com espaçamento de 0,8 m entre linhas e 25 m de comprimento. As fontes de N utilizadas (sulfato de amônio - SA e Uréia - U) foram aplicadas com haste escarificadora na profundidade de 0-7 cm, no meio das futuras entrelinhas (pré-semeadura) e no meio das entrelinhas efetivas (pós-semeadura), na dose de 80 kg.ha⁻¹ de N.

Tabela 6. Tratamentos empregados no experimento.

1. Uréia aplicada 43 dias antes da semeadura do milho
2. Sulfato de amônio aplicado 43 dias antes da semeadura do milho
3. Uréia aplicada 31 dias após a semeadura do milho
4. Sulfato de amônio aplicado 31 dias após a semeadura do milho

No sulco de semeadura foram aplicados 40, 53 e 40 kg.ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, nas formas de sulfato de amônio, MAP e KCl, respectivamente, e mais 0,7 kg.ha⁻¹ de B e 1,3 kg.ha⁻¹ de Mn.

A seguir são apresentados e discutidos os resultados obtidos por Lara Cabezas et al. (2001), referentes à safra 99/00.

Na Figura 1 temos a marcha de produção de matéria seca, acúmulo de N-total e relação C/N da aveia-preta, antecedendo a cultura do milho na safra 99/00.

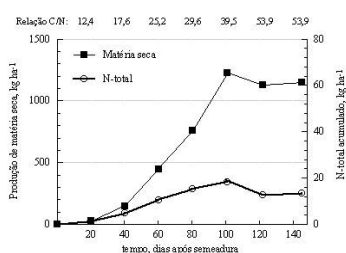


Figura 1 Marcha de produção de matéria seca, acúmulo de nitrogênio e relação C/N no ciclo vital da aveia preta (*Avena strigosa*), antecessora à semeadura do milho.

Observa-se que, devido às condições climáticas, o acúmulo de matéria seca pela cultura da aveia-preta (*Avena strigosa*) esteve aquém das quantidades normalmente acumuladas pela cultura, como por exemplo ocorre no Sul do país. O menor acúmulo de matéria seca pela cultura da aveia-preta certamente diminuiu o potencial de imobilização do nitrogênio. Um outro aspecto a ser considerado é a relação C/N aos 140 dias após a semeadura (C/N = 53,9), muito maior que a relação C/N = 25, abaixo da qual a mineralização líquida é maior que a imobilização (Aita, 1999).

Os dados apresentados nas Tabelas 7 e 8 mostram a quantidade de nitrogênio proveniente das duas fontes empregadas (sulfato de amônio e uréia) que foram imobilizadas na matéria orgânica, em diferentes épocas do ciclo do milho, quando aplicadas em pré-semeadura (Tabela 7) ou em pós-semeadura (Tabela 8).

Os dados da Tabela 7 mostram que, quando aplicados em pré-semeadura, a imobilização do nitrogênio do sulfato de amônio foi mais rápida que a imobilização do nitrogênio da uréia, porém a remineralização (“turnover”) do nitrogênio do sulfato de amônio também foi mais rápida que a da uréia. Essa característica mostrada pelo sulfato de amônio ficou mais evidente na adubação de pós-semeadura (Tabela 8), onde se verifica que em todas as

épocas de amostragem a quantidade de nitrogênio imobilizado proveniente da uréia foi significativamente maior que a quantidade de nitrogênio imobilizado proveniente do sulfato de amônio.

Tabela 7. Nitrogênio imobilizado no solo, proveniente dos fertilizantes aplicados em pré-semeadura, em diferentes épocas do ciclo da cultura do milho.

Época de amostragem	Nispf ⁽¹⁾			
	Sulfato de amônio		Uréia	
	kg.ha ⁻¹	% do N aplicado	kg.ha ⁻¹	% do N aplicado
19 d.a.a. ⁽²⁾	13,3 aA ⁽³⁾	16,6	6,6 bB	8,3
40 d.a.a.	8,1 abA	10,1	13,7 aA	17,1
64 d.a.a. (5 a 6 folhas)	7,6 bA	9,5	9,1 abA	11,4
105 d.a.a. (11 a 12 folhas)	5,7 bA	7,1	7,5 bA	9,4
119 d.a.a. (florescimento)	4,7 bA	5,9	7,2 bA	9,0

(1) Nispf = Nitrogênio imobilizado no solo, proveniente do fertilizante.

(2) d.a.a. = dias após a adubação, a qual foi realizada 43 dias antes da semeadura do milho.

(3) As médias entre fontes, para cada época, seguidas de letras maiúsculas iguais, não diferem significativamente pelo teste de Tukey em nível de 0,05. As médias entre épocas, para cada fonte, seguidas de letras minúsculas desiguais, diferem significativamente.

Tabela 8. Nitrogênio imobilizado no solo, proveniente dos fertilizantes aplicados em pós-semeadura, em diferentes épocas do ciclo da cultura do milho.

Época de amostragem	Nispf ⁽¹⁾			
	Sulfato de Amônio		Uréia	
	kg.ha ⁻¹	% do N aplicado	kg.ha ⁻¹	% do N aplicado
32 d.a.a. ⁽²⁾	2,29 aB ⁽³⁾	2,9	9,80 aA	12,2
47 d.a.a. (florescimento)	2,47 aB	3,1	7,89 abA	9,9
99 d.a.a. (maturação fisiológica)	1,27 aB	1,6	6,08 bA	7,6

(1) Nispf = Nitrogênio imobilizado no solo, proveniente do fertilizante.

(2) d.a.a. = dias após a adubação, a qual foi realizada 31 dias após a semeadura do milho.

(3) As médias entre fontes, para cada época, seguidas de letras maiúsculas iguais, não diferem significativamente pelo teste de Tukey em nível de 0,05.

As médias entre épocas, para cada fonte, seguidas de letras minúsculas desiguais, diferem significativamente.

A seguir discutiremos os resultados referentes à absorção do nitrogênio pelas plantas de milho.

Nas Tabelas 9 e 10 são apresentados os valores referentes à produção de matéria seca (MS), N-total na planta (N_{total}), N na planta proveniente do fertilizante (Nppf) e a porcentagem do N do fertilizante recuperado na planta, respectivamente para as aplicações de pré-semeadura (Tabela 9) e pós-semeadura (Tabela 10).

Tabela 9. Matéria seca (MS), N total na planta (N_{total}), N na planta proveniente do fertilizante (Nppf) e N recuperado na planta, proveniente dos fertilizantes aplicados em pré-semeadura do milho, em diferentes épocas de amostragem.

Época (estádio)	Sulfato de amônio				Uréia			
	MS -----kg.ha ⁻¹	N_{total} -----	Nppf -----	Nfrp %	MS -----kg.ha ⁻¹	N_{total} -----	Nppf -----	Nfrp %
64 daa. ⁽¹⁾ (5 a 6 folhas)	121 b ⁽²⁾	5,7 b	0,02 bA	0,03 bA	156 b	7,2 b	0,02 bA	0,03 bA
105 d.a.a. (11 a 12 folhas)	6.271 a	112,4 a	35,3 aA	44,1 aA	7.450 a	94,6 a	18,7 aB	23,4 aB
119 d.a.a. (florescimento)	9.098 a	153,8 a	45,8 aA	57,3 aA	7.356 a	106,2 a	22,7 aB	28,4 aB

- (1) d.a.a. = dias após a adubação, a qual foi realizada 43 dias antes da semeadura do milho.
- (2) As médias entre fontes, para cada época, seguidas de letras maiúsculas desiguais, diferem significativamente pelo teste de Tukey em nível de 0,05. As médias entre épocas para cada fonte, seguidas de letras minúsculas desiguais, diferem significativamente pelo teste de Tukey em nível de 0,05.

Verifica-se que até o estágio de 11-12 folhas houve um grande acúmulo de N-total na planta (média de 112,4 e 94,6 kg.ha⁻¹ de N, respectivamente para sulfato de amônio e uréia). Porém, não ocorreu diferença significativa entre os tratamentos, para uma mesma época de amostragem. Também na média das duas épocas de aplicação (pré e pós-semeadura), o estágio de maior acúmulo de N na planta, proveniente dos fertilizantes, foi o estágio de 11-12 folhas (média de 35,5 e 18,7 kg.ha⁻¹ para o sulfato de amônio e para a uréia, respectivamente).

Segundo Fancelli & Dourado Neto (1997), até este estágio o milho apresenta uma acentuada taxa de absorção de N e K, principalmente em virtude do aumento da taxa de desenvolvimento da espiga, colmo e pendão. Até o estágio de florescimento foi observado aumento na assimilação do N-fertilizante (45,8 e 22,7 kg.ha⁻¹ de N do sulfato de amônio e da uréia, respectivamente). Houve, portanto, uma recuperação significativa de 57,3% do nitrogênio do sulfato de amônio, em relação ao nitrogênio da uréia (28,4%), até o florescimento. Essas diferenças evidenciam a importância da utilização do traçador ¹⁵N em estudos dessa natureza, visto que não seriam possíveis essas observações sem o seu uso. Portanto, à luz dos resultados apresentados, conclui-se que o N do sulfato de amônio teve um “turnover” (imobilização-mineralização) mais rápido que o N da uréia, favorecendo a sua assimilação pela planta nos estágios de 5-6 até 11-12 folhas.

Os dados apresentados na Tabela 11, onde encontram-se as relações Nppf/Nispf, ou seja, a quantidade de N na planta proveniente do fertilizante para cada kg de N do fertilizante imobilizado no solo, resumem e evidenciam os efeitos das fontes e das épocas de aplicação, no aproveitamento dos fertilizantes pela cultura do milho.

Tabela 10. Matéria seca (MS), N total na planta (N_{total}), N na planta proveniente do fertilizante (Nppf) e N recuperado na planta proveniente dos fertilizantes

aplicados em pós-semeadura do milho, em diferentes épocas de amostragem.

Época (estádio)	Sulfato de amônio				Uréia			
	MS -----kg.ha ⁻¹ ---	N _{total} -----kg.ha ⁻¹ ---	Nppf %	Nfrp %	MS -----kg.ha ⁻¹ ---	N _{total} -----kg.ha ⁻¹ ---	Nppf %	Nfrp %
-1 d.a.a ⁽¹⁾ (5 a 6 folhas)	143 dA	4,6 b	-	-	127 dA	4,9 c	-	-
32 d.a.a. (11 a 12 folhas)	8.238 cA	143,7 a	44,0 A	55,0	6.493cB	101,4b	18,8B	23,5
47 d.a.a. (florescimento)	9.407 bA	154,4 a	35,0 A	43,7	9.755 bA	163,6a	34,0A	42,5
99 d.a.a. (maturação fisiológica)	17.454 aA	196,0 a	49,4 A	61,8	14.928aB	174,0a	33,6A	42,0

⁽¹⁾ d.a.a. = dias após a adubação, a qual foi realizada 31 dias após a semeadura do milho.

⁽²⁾ As médias entre fontes, para cada época, seguidas de letras maiúsculas desiguais, diferem significativamente pelo teste de Tukey em nível de 0,05. As médias entre épocas para cada fonte, seguidas de letras minúsculas desiguais, diferem significativamente pelo teste de Tukey em nível de 0,05.

Tabela 11. Relação Nppf (kg.ha⁻¹)/Nisppf (kg.ha⁻¹) nos estádios de 11-12 folhas e de florescimento, para as duas fontes de N, nas duas épocas de aplicação⁽¹⁾.

Estádio	Fontes	
	Sulfato de amônio	Uréia
	-----Pré-semeadura-----	
11-12 folhas	6,2	2,5
Florescimento	9,7	3,2
Média	8,0 aA	2,9 aB
	-----Pós-semeadura-----	
11-12 folhas	19,2	1,9

Florescimento	14,2	4,3
Média	16,7 bA	3,1aB

(1) As médias entre épocas, na mesma coluna, seguidas de letras minúsculas iguais, não diferem significativamente pelo teste de Tukey em nível de 0,05. As médias entre fontes, na mesma linha, seguidas de letras maiúsculas desiguais, diferem significativamente pelo teste de Tukey em nível de 0,05.

As médias das relações N_{ppf}/N_{ispf} mostram que tanto na aplicação de pré-semeadura como na aplicação de pós-semeadura o N da uréia foi imobilizado mais intensamente que o N do sulfato de amônio, este porém foi remineralizado mais facilmente que o N da uréia, refletindo-se diretamente na quantidade de N na planta proveniente dos fertilizantes (8,0 e 16,7 $kg\cdot ha^{-1}$ por $kg\cdot ha^{-1}$ de N imobilizado, contra 2,9 e 3,1 $kg\cdot ha^{-1}$ para cada $kg\cdot ha^{-1}$ de N da uréia imobilizado, respectivamente em pré e pós-semeadura).

No que diz respeito ao efeito das épocas de aplicação, pode-se observar que esta praticamente não influenciou na imobilização do N da uréia. Já no caso do sulfato de amônio, a imobilização e o aproveitamento do N do fertilizante pela planta foram fortemente influenciados pela época de aplicação (8,0 $kg\cdot ha^{-1}$ de N na planta contra 16,7 $kg\cdot ha^{-1}$ de N na planta, provenientes do sulfato de amônio, respectivamente em pré e pós-semeadura).

Esse comportamento diferenciado entre as fontes de N empregadas, associado ao fato de que nos tratamentos com sulfato de amônio automaticamente foram fornecidos 96 $kg\cdot ha^{-1}$ de enxofre, influenciou a produtividade da cultura de milho. Porém, não houve efeito significativo da época de aplicação na produtividade da cultura, como pode-se observar nos dados de rendimento de grãos, apresentados na Tabela 12.

Tabela 12. Efeito das fontes e épocas de aplicação de nitrogênio na produtividade da cultura do milho⁽¹⁾.

Tratamentos	Produtividade ----- $kg\cdot ha^{-1}$ -----	Varição
Uréia em pós-semeadura ⁽²⁾	6.920 aB	-
Uréia em pré-semeadura	7.034 aB	114
Sulfato de amônio em pós-semeadura	7.720 aA	800

(1) Dose de N aplicada = 80 kg.ha⁻¹.

(2) Aplicação em pós-semeadura realizada 31 dias após a semadura do milho. Aplicação em pré-semeadura realizada 43 dias antes da semadura do milho.

(3) As médias entre épocas, seguidas de letras minúsculas iguais, não diferem significativamente pelo teste de Tukey em nível de 0,05. As médias entre fontes, seguidas de letras maiúsculas desiguais, diferem significativamente pelo teste de Tukey em nível de 0,05.

O efeito do fator fonte foi superior ao efeito do fator época de aplicação. A aplicação do sulfato de amônio, nas duas épocas, apresentou maior produtividade (em média 847 kg.ha⁻¹ de grãos a mais que os tratamentos com uréia). Segundo Sá (1996), citado por Lara Cabezas et al. (2001), seria interessante, sob o ponto de vista operacional, efetuar a adubação em pré-semeadura sempre que a pluviosidade for incipiente, até a semeadura, visto que a imobilização mostrou-se predominante sobre a mineralização, na ausência do sistema radicular.

Lara Cabezas et al. (2001) ponderam que, no caso de precipitações mais intensas e freqüentes que as ocorridas nesse experimento, assim como para solos mais arenosos que os do presente experimento, a mineralização pode ser mais intensa que a imobilização do N-aplicado, com conseqüente deslocamento desse nitrogênio para fora do alcance do sistema radicular da cultura. Além disso, deve ser considerada a quantidade e a qualidade do material de cobertura do solo (palhada da cultura antecedente), pois estes são fatores determinantes da intensidade do processo de imobilização. Os autores citam, ainda, a frase de Basso (1999): “No SPD, a aplicação do N em pré-semeadura do milho pode ser uma alternativa técnica, desde que o período de cultivo do milho não seja caracterizado pela ocorrência de intensas e freqüentes chuvas”.

Finalmente, Lara Cabezas et al. (2001) consideram que nesse tipo de estudo deve-se levar em conta a necessidade de uma maior utilização de fontes marcadas com ¹⁵N, associadas a avaliações da biomassa do solo, assim como avaliações da atividade respiratória em condições de campo, para que se possa quantificar mais diretamente e consistentemente a intensidade com que os fenômenos de imobilização e mineralização ocorrem na rizosfera das plantas, em condições tropicais. Segundo esses

autores, o aumento da eficiência da adubação nitrogenada passa necessariamente pela intensificação de estudos que avaliem a importância relativa dos processos de transformação do nitrogênio no solo, sobretudo considerando-se a maior complexidade dessas transformações no SPD.

As conclusões obtidas por Lara Cabezas et al. (2001) podem ser resumidas da seguinte forma:

- a. Na adubação de pré-semeadura do milho, no SPD, parte do N aplicado como sulfato de amônio ou uréia é efetivamente imobilizada, sendo que o sulfato de amônio apresenta maior rapidez na ciclagem do N-imobilizado-mineralizado (“turnover”) e consequentemente maior assimilação pelas plantas de milho, logo após a semeadura.
- b. Na adubação de pós-semeadura, somente ocorre imobilização do N-uréia, retardando a sua assimilação pelas plantas, em relação ao N do sulfato de amônio.
- c. Para cada kg de N-fertilizante imobilizado, independente da época de aplicação, ocorre uma recuperação maior do N do sulfato de amônio, entre os estádios de 11-12 folhas e florescimento.
- d. A maior eficiência de aproveitamento do N do sulfato de amônio, associada ao fornecimento de enxofre ao sistema, promoveu um aumento da produtividade da cultura do milho, em relação à produtividade das parcelas adubadas com uréia, nas duas épocas de aplicação.

LITERATURA CITADA

AITA, C. Dinâmica do nitrogênio no solo durante a decomposição de plantas de cobertura: Efeito sobre a disponibilidade de nitrogênio para a cultura em sucessão. In: **Atualização em recomendação de adubação e calagem – ênfase em plantio direto**. Santa Maria: Departamento de Solos-CCR-UFSM, SBCS-Núcleo Regional Sul, 1997. p.76-111.

- BASSO, C.J. Épocas e aplicação de nitrogênio para milho cultivado em sucessão a plantas de cobertura de solo no sistema de plantio direto. Santa Maria, 1999. 91p. Tese (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, RS.
- CERETTA, C.A.; FRIES, M.R. Adubação nitrogenada no sistema plantio direto. In: NUERNBERG, N.J. (ed.). **Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto**. Lages: SBCS-Núcleo Regional Sul, 1998. p.111-120.
- CERETTA, C.A. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia/ milho, no sistema plantio direto. In: **Atualização em recomendação de adubação e calagem – ênfase em plantio direto**. Santa Maria: Departamento de solos-CCR-UFSM, SBCS-Núcleo Regional Sul, 1997. p.112-124.
- FANCELLI, A.L. Cultura do Milho: Importância da tecnologia. **Informações Agronômicas**, v.78, p.4, 1997.
- FANCELLI, A.L.; DOURADO-NETO, D. Cultura do milho: aspectos fisiológicos e manejo da água. **Informações Agronômicas**, n.73, p.1-4, 1996.
- FANCELLI, A.L.; DOURADO-NETO, D. Fenologia do milho. **Informações Agronômicas**, v.78, p.1-6, 1997. (Encarte Técnico)
- FERNANDES, F.M., KURAMOTO, C.M.; MANO de MELLO, L.M. **Resposta da cultura do milho (*Zea mays* L.) à adubação nitrogenada, sob semeadura direta na região do cerrado**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., Brasília, 1999. (CD-ROM)
- PAULETTI, V. A importância da palha e da atividade biológica na fertilidade do solo. In: CURSO SOBRE ASPECTOS BÁSICOS DE FERTILIDADE E MICROBIOLOGIA DO SOLO EM PLANTIO DIRETO, 3., Cruz Alta, 1999. **Resumo de Palestras...** Passo Fundo: Aldeia Norte, 1999. p.56-65.
- SÁ, J.C.M. **Manejo de nitrogênio na cultura do milho no sistema de plantio direto**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1996. 23p.

SÁ, J.C.M. Nitrogênio: Influência da rotação de culturas e resposta da cultura do milho em solos sob plantio direto. In: CURSO SOBRE MANEJO DO SOLO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, Castro, 1995. **Anais...** Castro: Fundação ABC para Assistência e Divulgação Técnica Agropecuária, 1995. p.212-227.

SPOLIDORIO, E.S. **Manejo de nitrogênio e enxofre nas culturas de soja e milho-safrinha.** In: SHOWTEC, 3., Maracaju, 2001. Impresso SN-Centro de Pesquisa e Promoção de Sulfato de Amônio Ltda., 2001.

STIPP, S.R.; YAMADA, T. Nutrição e adubação do Milho. **Informações Agronômicas**, v.43, p.3-6, 1988.

YAMADA, T. Adubação nitrogenada do milho: quanto aplicar, como e quando aplicar? **Informações Agronômicas**, v.74, p.1-5, 1996.