

## Transformações do nitrogênio proveniente de mucuna-preta e uréia utilizados como adubo na cultura do milho<sup>(1)</sup>

Walkyria Bueno Scivittaro<sup>(2)</sup>, Takashi Muraoka<sup>(3)</sup>, Antonio Enedi Boaretto<sup>(3)</sup>  
e Paulo César Ocheuze Trivelin<sup>(3)</sup>

Resumo – A associação de adubos verdes a fertilizantes minerais, como fonte de N para as culturas, visa à racionalização no uso das fontes minerais, sem prescindir de produtividades elevadas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a dinâmica do N proveniente de adubos verde e mineral, aplicados de forma exclusiva ou combinada, na cultura do milho. Os tratamentos constituíram-se de mucuna-preta marcada com <sup>15</sup>N (113,5 kg ha<sup>-1</sup> de N), uréia marcada com <sup>15</sup>N (50 e 100 kg ha<sup>-1</sup> de N) e as possíveis combinações de mucuna-preta e uréia, marcadas ou não com <sup>15</sup>N. Utilizou-se o delineamento em blocos ao acaso com quatro repetições. O milho foi semeado após a incorporação do adubo verde ao solo, parcelando-se a aplicação da uréia na semeadura e em cobertura. O aproveitamento do N da uréia pelo milho (43% em média) foi maior que o da mucuna-preta (12% em média), evidenciando superioridade da uréia como fonte de N para o milho. A quantidade de N, que permaneceu no solo após o cultivo do milho, proveniente da mucuna-preta (em média 50%) foi superior a da uréia (em média 33%). A recuperação média de N da mucuna-preta no sistema solo-planta foi de 61%, ao passo que a da uréia foi de 76%; o restante foi perdido no sistema. A combinação com o adubo verde favorece a recuperação de N da uréia no sistema solo-planta.

Termos para indexação: *Mucuna aterrima*, adubo verde, relações solo-planta, fertilidade do solo.

### Transformations of nitrogen from velvet bean and urea used as fertilizers in corn crop

Abstract – The use of green manure's along with mineral fertilizers as crop N source is a promising management technic, that aims to make the use of mineral sources more efficient, without yield losses. The objective of this work was to evaluate the dynamics of N from velvet bean green manure and urea, applied sole or combined, to corn crop. The treatments were: <sup>15</sup>N labeled velvet bean (113.5 kg ha<sup>-1</sup> of N); <sup>15</sup>N labeled urea (50 and 100 kg ha<sup>-1</sup> of N); and the combinations of velvet bean and urea labeled or not with <sup>15</sup>N. The experimental design was a randomized block with seven treatments and four replicates. Corn was sown 15 days after green manure incorporation to the soil. Urea was applied to the corn crop at sowing and side-dressed. Urea N recovery by corn (43%) was greater than that of green manure (12%), evidencing the superiority of urea as N source for corn crop. More N from velvet bean green manure (50%), comparing to urea (33%), remained in soil after corn cultivation. Urea N recovery in the soil-plant system (76%) surpassed that of green manure (61%). The remainder N was lost from the soil-plant system. The combination with green manure benefits urea N recuperation in the soil-plant system.

Index terms: *Mucuna aterrima*, green manure, soil-plant relations, soil fertility.

<sup>(1)</sup> Aceito para publicação em 21 de outubro de 2003.

Trabalho financiado pela Fapesp e Agência Internacional de Energia Atômica.

<sup>(2)</sup> Embrapa-Centro de Pesquisa Agropecuária de Clima Temperado, Caixa Postal 403, CEP 96001-970 Pelotas, RS. E-mail: wbscivit@cpact.embrapa.br

<sup>(3)</sup> Universidade de São Paulo, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Caixa Postal 96, CEP 13400-970 Piracicaba, SP. E-mail: muraoka@cena.usp.br, boaretto@cena.usp.br, trivelin@cena.usp.br

### Introdução

A associação de adubos verdes a fertilizantes minerais como fonte de N para as culturas é uma atividade de manejo promissora, com o propósito de racionalizar o uso das fontes minerais, sem prescindir de produtividades elevadas. Pesquisas indicam benefícios dessa prática, resultando em aumento do rendimento das culturas, quando comparada ao uso

exclusivo de adubos verdes ou minerais (Peterson & Varvel, 1989; Rekhi & Bajwa, 1993; Pöttker & Roman, 1994).

Estudos realizados na cultura do milho apresentam resultados variáveis, impedindo uma avaliação conclusiva sobre o assunto. Ao trabalharem em solo com baixo conteúdo de N, Kang et al. (1981) obtiveram máximo rendimento de milho com a incorporação de 10 t ha<sup>-1</sup> de resíduos frescos de *Leucaena leucocephala* ou com a associação de 5 t ha<sup>-1</sup> desse adubo verde a 50 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, não encontrando, porém, resposta em rendimento à aplicação exclusiva de fertilizante mineral. Por sua vez, Pöttker & Roman (1994) mostraram que o cultivo de ervilhaca-comum (*Vicia sativa*) e de chicharo (*Lathyrus sativus*), no inverno, reduziu a necessidade de adubação nitrogenada para o milho, cultivado em sucessão e promoveu aumentos na produtividade de grãos. Kanthack et al. (1991) não obtiveram resposta à aplicação de até 120 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral na produção de milho, cultivado em sucessão a tremoço (*Lupinus albus*).

Frye et al. (1985), ao compararem os efeitos de combinações dos adubos verdes *Vicia villosa*, *Vicia grandiflora* e *Trifolium incarnatum* com três doses de nitrato de amônio (0, 50 e 100 kg ha<sup>-1</sup> de N), aplicado a lanço ao milho cultivado em sistema plantio direto, observaram que a combinação de *Vicia villosa* a 100 kg ha<sup>-1</sup> de N propiciou os maiores valores de produtividade de grãos e que o uso exclusivo dos adubos verde ou mineral não supriu as necessidades de N do milho. Por outro lado, sob condições controladas, Azam et al. (1985) verificaram que a utilização de N do sulfato de amônio (<sup>15</sup>N) por plantas de milho foi de 20%, diminuindo para 14%, quando associado ao adubo verde *Sesbania aculeata*. Apenas 5% do N de *S. aculeata* foram absorvidos pelo milho, não havendo influência do fertilizante mineral sobre a disponibilidade de N do adubo verde.

De acordo com Hesterman et al. (1987), quando associadas a 56 kg ha<sup>-1</sup> de N mineral, as leguminosas alfafa e soja forneceram, em média, 44% do N absorvido pelo milho cultivado em rotação. Mas, com a elevação da dose de N mineral para 168 kg ha<sup>-1</sup>, a proporção de N no milho derivado das leguminosas diminuiu para 19%. Por sua vez, Peterson & Varvel (1989) verificaram que a rotação com leguminosas

associada à fertilização mineral com 90 kg ha<sup>-1</sup> de N proporcionou máximo rendimento para a cultura do milho, superando o efeito do uso exclusivo de leguminosas ou de fertilizante mineral.

Corak et al. (1992), ao avaliarem, em vasos, o efeito do uso exclusivo e combinado de *Vicia villosa* e de sulfato de amônio no azevém, observaram que a produção de matéria seca proporcionada pelo sulfato de amônio foi cerca de duas vezes maior que a obtida com o adubo verde, correspondendo a uma recuperação de N 44% maior que a da leguminosa. A associação com *V. villosa* reduziu a utilização de N do sulfato de amônio, não tendo sido observada, porém, influência da presença desse fertilizante sobre a utilização de N do adubo verde.

Uma fração significativa do N proveniente de adubos verdes e minerais não é aproveitada pelas plantas, podendo permanecer no solo e ser utilizada por cultivos posteriores, ou ainda, ser perdida no sistema solo-planta. A determinação da dinâmica do N incorporado ao sistema, bem como sua mensuração, são fundamentais ao estabelecimento de práticas de manejos que permitam maximizar a eficiência de uso de adubos verdes e minerais como fonte de N para as culturas, contribuindo para a sustentabilidade do sistema produtivo.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a dinâmica do nitrogênio de adubos verde e mineral, aplicados, de forma exclusiva ou combinada, à cultura do milho.

## Material e Métodos

O experimento, compreendendo duas fases, foi realizado em área experimental do Centro APTA Cana-de-Açúcar, em Piracicaba, SP, de fevereiro de 1996 a abril 1997. A primeira fase destinou-se à produção do adubo verde mucuna-preta (*Mucuna aterrima*) e a segunda, à incorporação desse material ao solo, cultivando-se, em seguida, milho. Simultaneamente à produção da mucuna-preta no campo, produziu-se, em casa de vegetação, o mesmo adubo verde marcado com <sup>15</sup>N.

O solo da área experimental, um Latossolo Vermelho (Embrapa, 1999) apresentou as seguintes composições química e granulométrica, na camada de 0-20 cm de profundidade: 1,4 g kg<sup>-1</sup> de N (Parkinson & Allen, 1975); 21 g dm<sup>-3</sup> de matéria orgânica; pH (CaCl<sub>2</sub>) de 4,4; 59 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de H+Al; 52 mg dm<sup>-3</sup> de P (resina); 4,3 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de K; 20 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Ca; 13 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>

de Mg (Raij et al., 1987); 210 g kg<sup>-1</sup> de areia; 160 g kg<sup>-1</sup> de silte e 630 g kg<sup>-1</sup> de argila (Bouyoucos, 1927). O solo foi corrigido quanto à acidez um mês antes da semeadura do adubo verde, por meio da aplicação de 3 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico (PRNT = 70%).

No campo, o espaçamento entre sulcos foi de 50 cm, e foram semeadas oito sementes de mucuna por metro de sulco. Por ocasião da semeadura, aplicaram-se no sulco 50 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, na forma de superfosfato triplo. As sementes utilizadas foram previamente inoculadas com *Bradyrhizobium* spp. estirpe CM-1545. No estádio de pleno florescimento, procedeu-se ao corte do adubo verde, com roçadeira, mantendo-se o material na superfície do solo. Nessa ocasião, foram demarcadas microparcels de 1,0x1,5 m na região central das parcelas que previam o emprego de adubo verde marcado com <sup>15</sup>N. Dessas microparcels removeu-se o material vegetal, parte aérea e raízes, que foi secado, pesado e submetido à análise química, para determinação do conteúdo de N (Bataglia et al., 1983).

A mucuna-preta a ser marcada com <sup>15</sup>N foi produzida em vasos, contendo 5 kg de solo. Cultivaram-se três plantas por vaso. Na semeadura, aplicaram-se 320 mg kg<sup>-1</sup> de P (superfosfato triplo). A marcação com <sup>15</sup>N iniciou-se 10 dias após a emergência das plantas, com a aplicação de uma mistura de soluções de uréia e de sulfato de amônio enriquecidas a 10,2% e 5,4% em átomos de <sup>15</sup>N, respectivamente. Cada solução forneceu 10 mg kg<sup>-1</sup> de nitrogênio. Foram efetuadas outras cinco aplicações de N, aos 32, 44, 55, 60 e 65 dias após a emergência, como solução de uréia marcada com <sup>15</sup>N, contendo 10 mg kg<sup>-1</sup> de nitrogênio. Nas três primeiras aplicações, utilizou-se uréia enriquecida com 10,2% e nas demais, com 30,2% em átomos de <sup>15</sup>N. A colheita das plantas foi realizada aos 85 dias da semeadura, no estádio de pleno florescimento, removendo-se a parte aérea e as raízes das plantas. Estas foram lavadas em água de torneira e destilada. O material vegetal foi secado, pesado e analisado quanto ao conteúdo de N (Bataglia et al., 1983) e à abundância isotópica em <sup>15</sup>N (Trivelin et al., 1973), apresentando 25,4 g kg<sup>-1</sup> de N e 2,383% em átomos de <sup>15</sup>N. O adubo verde marcado com <sup>15</sup>N foi aplicado nas microparcels, em substituição ao material retirado do campo. As raízes foram enterradas em dois sulcos, abertos nas posições em que se situavam as linhas de plantio do adubo verde. O material relativo à parte aérea foi espalhado sobre a superfície do solo.

Os tratamentos consistiram na aplicação de 4,4 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca de mucuna-preta marcada com <sup>15</sup>N, que correspondeu a 113,5 kg ha<sup>-1</sup> de N (T1); 50 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de uréia marcada com <sup>15</sup>N (T2); 100 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de uréia marcada com <sup>15</sup>N (T3); mucuna-preta

marcada com <sup>15</sup>N + 50 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de uréia (T4); mucuna-preta marcada com <sup>15</sup>N + 100 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de uréia (T5); mucuna-preta + 50 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de uréia marcada com <sup>15</sup>N (T6); mucuna-preta + 100 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de uréia marcada com <sup>15</sup>N (T7). Utilizou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro repetições. As unidades experimentais, com 6x10 m, continham ou não, de acordo com o tratamento, microparcels para a aplicação de mucuna-preta ou uréia marcada com <sup>15</sup>N.

Quatro meses após o corte da mucuna-preta cultivada no campo, procedeu-se à incorporação do material ao solo. Após 15 dias, semeou-se milho cultivar AG403-B, utilizando-se um espaçamento entre linhas de 1 m e oito sementes por metro de sulco, mantendo-se um estande de 65.000 plantas por ha, após o desbaste. Por ocasião da semeadura, aplicaram-se 40 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, como superfosfato triplo, e 25 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, como cloreto de potássio. Nos tratamentos que previam a utilização de N mineral, adicionaram-se também 15 kg ha<sup>-1</sup> de N, como uréia, com exceção das áreas pertencentes às microparcels destinadas à aplicação de uréia marcada, em que esse fertilizante foi aplicado após a semeadura, como solução enriquecida com <sup>15</sup>N. O restante da adubação nitrogenada, prevista nos tratamentos, foi aplicado em cobertura, parcelado aos 30 e 45 dias após a semeadura, para a dose 50 kg ha<sup>-1</sup> de N (15 e 20 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente), e aos 30, 45 e 55 dias após a semeadura, para a dose 100 kg ha<sup>-1</sup> de N (25, 30 e 30 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente). Nas microparcels, adicionaram-se soluções de uréia (10,2% em átomos de <sup>15</sup>N). O milho foi cultivado por 135 dias, quando foi coletada a parte aérea de quatro plantas de cada microparcels, fracionadas em colmo e folhas, grãos, sabugo e palha.

Os tratamentos foram avaliados pela recuperação de N dos adubos verde e mineral pelo milho, pelas porcentagens de N dos adubos verde e mineral residuais no solo e pelas porcentagens e quantidades de N dos adubos verde e mineral recuperadas e perdidas do sistema solo-planta. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

## Resultados e Discussão

O aproveitamento de N da uréia pela parte aérea do milho foi maior que o da mucuna-preta (Tabela 1). O aproveitamento de N do adubo verde variou de 10% a 14%, aproximando-se dos valores observados por Azam et al. (1985), Ladd & Amato (1986), Harris & Hesterman (1990), Patil & Sarkar (1991) e Harris et al. (1994). Da mesma forma, os valores de

aproveitamento de N do fertilizante mineral encontrados, em média 47% na presença de mucuna-preta, e 39% na ausência, assemelharam-se aos de Ladd & Amato (1986), Hesterman et al. (1987), Patil & Sarkar (1991), Diekmann et al. (1993) e Harris et al. (1994). O menor aproveitamento de N proveniente de adubos verdes pelo milho, relativamente às fontes minerais, pode ser atribuído à lenta mineralização e liberação de N de adubos verdes incorporados ao solo (Kundu et al., 1991), evidenciando superioridade dos fertilizantes minerais como fontes de N de liberação rápida para as culturas.

Não se observou efeito da associação com a uréia sobre a utilização de N da mucuna-preta (Tabela 1). Apenas na palha da espiga, maior aproveitamento de N do adubo verde foi obtido em seu uso exclusivo como fonte de N para o milho; a combinação com 50 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de uréia propiciou desempenho intermediário, seguida da combinação com 100 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de uréia, com menor utilização de N da mucuna-preta. As quantidades de N acumuladas nessa parte da planta foram pequenas, em relação ao restante da parte aérea e, por essa razão, os efeitos foram pouco representativos.

Nos componentes da espiga (grãos, sabugo e palha), não foi verificada influência da associação com a mucuna-preta na utilização de N da uréia (Tabela 1). Já no colmo e folhas, maior aproveita-

mento de N da uréia foi determinado para associação de mucuna-preta com 100 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de uréia. Este tratamento não diferiu, porém, da combinação de mucuna-preta com 50 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de uréia e do uso exclusivo de 50 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de uréia, que apresentaram desempenho intermediário, superando, apenas, o tratamento com uso de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de uréia. Com relação à parte aérea, as combinações com mucuna-preta propiciaram maior utilização de N da uréia pelo milho, sendo que o tratamento 50 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de uréia associada à mucuna-preta não diferiu daqueles com uso exclusivo de N na forma de uréia (Tabela 1). Estes resultados sugerem que a presença do adubo verde favoreceu a utilização de N da uréia, provavelmente reduzindo suas perdas do sistema solo-planta. Por outro lado, Diekmann et al. (1993) não observaram alterações na recuperação de N do fertilizante mineral em presença de adubos verdes. Já Azam et al. (1985) e Corak et al. (1992) relataram que a associação entre adubos verde e mineral reduziu a eficiência de utilização de N da fonte mineral, e atribuíram tal efeito à imobilização de N do fertilizante, propiciada pela incorporação de resíduos de vegetais ao solo.

O N do adubo verde permaneceu mais no solo do que o fertilizante mineral (Tabela 2). Esse resultado é um indicativo da decomposição incompleta dos resí-

**Tabela 1.** Aproveitamento de nitrogênio (%) da mucuna-preta e da uréia pelas plantas de milho<sup>(1)</sup>.

Tratamento <sup>(2)</sup>	Colmo e folhas	Grãos	Sabugo	Palha	Parte aérea
Mucuna-preta					
T1	5,18a	3,34a	0,34a	0,69a	9,60a
T4	6,52a	3,82a	0,33a	0,55ab	11,22a
T5	8,64a	4,92a	0,30a	0,49b	14,37a
Média	6,78	4,03	0,32	0,58	11,73
CV (%)	12	12	34	12	10
Uréia					
T2	23,83ab	12,00a	1,38a	2,66a	39,85b
T3	21,48b	12,41a	1,25a	2,46a	37,60b
T6	26,27ab	13,80a	1,18a	2,26a	43,50ab
T7	30,20a	16,46a	1,21a	2,16a	50,03a
Média	25,44	13,67	1,26	2,39	42,75
CV (%)	15	20	23	18	11

<sup>(1)</sup>Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. <sup>(2)</sup>T1: mucuna-preta-<sup>15</sup>N; T2: 50 kg ha<sup>-1</sup> de N da uréia-<sup>15</sup>N; T3: 100 kg ha<sup>-1</sup> de N da uréia-<sup>15</sup>N; T4: mucuna-preta-<sup>15</sup>N + 50 kg ha<sup>-1</sup> de N da uréia; T5: mucuna-preta-<sup>15</sup>N + 100 kg ha<sup>-1</sup> de N da uréia; T6: mucuna-preta + 50 kg ha<sup>-1</sup> de N da uréia-<sup>15</sup>N; T7: mucuna-preta + 100 kg ha<sup>-1</sup> de N da uréia-<sup>15</sup>N.

**Tabela 2.** Porcentagens residuais, no solo, de nitrogênio proveniente da mucuna-preta e da uréia<sup>(1)</sup>.

Tratamento <sup>(2)</sup>	Profundidade (cm)		
	0-20	20-40	0-40
Mucuna-preta			
T1	43,43a	4,46a	47,95a
T4	47,62a	6,20a	54,23a
T5	41,12a	5,12a	46,53a
Média	44,06	5,26	49,57
CV (%)	25	31	25
Uréia			
T2	21,72a	9,04a	30,76a
T3	17,16a	10,08a	27,24a
T6	25,81a	13,23a	39,04a
T7	26,03a	10,18a	36,21a
Média	22,68	10,63	33,31
CV (%)	21	21	17

<sup>(1)</sup>Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. <sup>(2)</sup>T1: mucuna-preta-<sup>15</sup>N; T2: 50 kg ha<sup>-1</sup> de N da uréia-<sup>15</sup>N; T3: 100 kg ha<sup>-1</sup> de N da uréia-<sup>15</sup>N; T4: mucuna-preta-<sup>15</sup>N + 50 kg ha<sup>-1</sup> de N da uréia; T5: mucuna-preta-<sup>15</sup>N + 100 kg ha<sup>-1</sup> de N da uréia; T6: mucuna-preta + 50 kg ha<sup>-1</sup> de N da uréia-<sup>15</sup>N; T7: mucuna-preta + 100 kg ha<sup>-1</sup> de N da uréia-<sup>15</sup>N.

duos da mucuna-preta, explicando, parcialmente, sua menor recuperação pelas plantas de milho, e do maior efeito residual do N dos adubos verdes do que o de fertilizantes minerais. Isto confirma os resultados encontrados na literatura, em que os valores de N variaram entre 44% e 89%, para os adubos verdes, e de 12% a 53%, para os fertilizantes minerais (Azam et al., 1985; Ladd & Amato, 1986; Harris & Hesterman, 1990; Patil & Sarkar, 1991; Corak et al., 1992; Diekmann et al., 1993; Harris et al., 1994).

Aproximadamente 90% do N da mucuna-preta foram recuperados na camada superficial do solo (0-20 cm), ao passo que o valor correspondente para a uréia foi de 68%. A menor movimentação em profundidade do N do adubo verde sugere que parte dos resíduos incorporados ao solo não foram decompostos até o final do período de cultivo do milho, sendo, em conseqüência, menos suscetíveis a perdas por lixiviação.

O N dos adubos verde e mineral remanescente no solo é encontrado, predominantemente, sob a forma de compostos orgânicos, cuja conversão para formas disponíveis é lenta. Por essa razão, seu aproveitamento por cultivos subseqüentes é pequeno, da ordem de 1% a 6% do montante aplicado (Harris & Hesterman, 1990; Rekhi & Bajwa, 1993). No entanto, a contribuição desses materiais para as formas orgânicas de N é fundamental para a manutenção da fertilidade do solo em longo prazo (Azam et al., 1985).

Não houve efeito dos tratamentos na recuperação de N da mucuna-preta (Tabela 3), refletindo o comportamento observado nas variáveis aproveitamento do N da mucuna-preta pelo milho e N da mucuna-preta residual no solo. A análise dos dados percentuais mostra que a recuperação de N da uréia foi maior nos tratamentos com combinação de adubos verde e mineral, expressando o maior aproveitamento de N pelo milho. Quantitativamente, os tratamentos com aplicação de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de uréia proporcionaram maior recuperação de N, o que se deveu à maior quantidade de fertilizante aplicada.

Com relação à recuperação de N dos adubos verde e mineral, é importante ressaltar que os valores obtidos desconsideram o nitrogênio contido no sistema radicular do milho, representando, portanto, uma subestimativa do total recuperado. Possivelmente, esse fato assumia maior relevância na avaliação da

recuperação de N do adubo verde, uma vez que existem relatos de que grande parte do N do adubo verde absorvido pelas plantas de milho fica retida nas raízes (Azam et al., 1985).

As perdas de nitrogênio da mucuna-preta, contrariamente ao esperado, foram maiores que as da uréia (Tabela 3). Provavelmente, a principal razão para esse comportamento tenha sido a elevada utilização de N da uréia pelo milho, com conseqüente redução de perdas de N dessa fonte. Nesse contexto, foi grande a influência da combinação da uréia com a mucuna-preta, favorecendo o aproveitamento do N da fonte mineral. Menores perdas de N de fertilizantes minerais, quando associados a adubos verdes, foram relatadas, anteriormente, por Azam et al. (1985) e Diekmann et al. (1993).

A recuperação média de N do adubo verde foi de 61%. Isso significa que 39% do N adicionado foram perdidos do sistema solo-planta. Devido às chuvas excessivas ocorridas durante o período de cultivo do milho e à textura argilosa do solo utilizado, infere-se que a desnitrificação tenha sido o principal mecanismo de perda de N da mucuna-preta (Harris & Hesterman, 1990). Também a volatilização de amônia do material vegetal, no período que antecedeu a sua incorporação ao solo, deve ter contribuído para esse processo (Bremer & Kessel, 1992). As pequenas quantidades de N da mucuna-preta encontradas na

**Tabela 3.** Nitrogênio proveniente da mucuna-preta e da uréia, recuperado pelas plantas de milho e perdido pelo sistema solo-planta<sup>(1)</sup>.

Tratamento <sup>(2)</sup>	Nitrogênio (%)		Nitrogênio (kg ha <sup>-1</sup> )	
	Recuperado	Perdido	Recuperado	Perdido
Mucuna-preta				
T1	57,60a	42,40a	54,31a	39,97a
T4	65,45a	34,55a	50,24a	26,52a
T5	61,16a	38,84a	46,95a	29,82a
Média	61,40	38,60	50,50	32,10
CV (%)	22	17	23	17
Uréia				
T2	70,65b	29,36a	35,32b	14,68ab
T3	64,84b	35,16a	64,84a	35,16a
T6	82,55a	17,45b	41,28b	8,72b
T7	86,24a	13,76b	86,25a	13,76ab
Média	76,07	23,93	56,92	18,08
CV (%)	17	31	18	30

<sup>(1)</sup>Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. <sup>(2)</sup>T1: mucuna-preta-<sup>15</sup>N; T2: 50 kg ha<sup>-1</sup> de N da uréia-<sup>15</sup>N; T3: 100 kg ha<sup>-1</sup> de N da uréia-<sup>15</sup>N; T4: mucuna-preta-<sup>15</sup>N + 50 kg ha<sup>-1</sup> de N da uréia; T5: mucuna-preta-<sup>15</sup>N + 100 kg ha<sup>-1</sup> de N da uréia; T6: mucuna-preta + 50 kg ha<sup>-1</sup> de N da uréia-<sup>15</sup>N; T7: mucuna-preta + 100 kg ha<sup>-1</sup> de N da uréia-<sup>15</sup>N.

camada subsuperficial do solo (Tabela 2) podem indicar que as perdas por lixiviação são pouco representativas. Por outro lado, a participação desse mecanismo sobre as perdas de N da uréia deve ter sido mais expressiva, uma vez que 32% do N da uréia retidos no solo foram encontrados na camada de 20-40 cm. Pelas mesmas razões descritas para o N da mucuna-preta, acredita-se que a desnitrificação também tenha sido um importante mecanismo de perda de N da uréia. Embora com menor representatividade que os demais mecanismos, perdas de N da uréia por volatilização de amônia também devem ter ocorrido (Azam et al., 1985; Harris & Hesterman, 1990).

### Conclusões

1. O aproveitamento pelo milho do nitrogênio proveniente da uréia é maior que o da mucuna-preta, em razão da pronta disponibilidade no solo do nutriente da fonte mineral.

2. A quantidade de nitrogênio da mucuna-preta residual no solo após o cultivo do milho é maior que a da uréia.

3. A recuperação no sistema solo-planta do nitrogênio da uréia é superior à da mucuna-preta, em virtude do maior aproveitamento de nitrogênio do fertilizante mineral pelo milho; a associação ao adubo verde intensifica esse efeito.

### Referências

- AZAM, F.; MALIK, K. A.; SAJJAD, M. I. Transformations in soil and availability to plants of  $^{15}\text{N}$  applied as inorganic fertilizer and legume residues. **Plant and Soil**, The Hague, v. 86, p. 3-13, 1985.
- BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agromônico, 1983. (Boletim Técnico, 78).
- BOUYOUCOS, G. J. The hydrometer as a new and rapid method for determining the colloidal content of soils. **Soil Science**, Baltimore, v. 23, p. 319-331, 1927.
- BREMER, E.; KESSEL, C. van. Plant available nitrogen from lentil and wheat residues during a subsequent growing season. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, n. 4, p. 1155-1160, 1992.
- CORAK, S. J.; SMITH, M. S.; MacKOWN, C. T. Fate of  $^{15}\text{N}$  labeled legume and ammonium nitrogen sources in a soil-plant system. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 23, p. 631-642, 1992.
- DIEKMANN, K. H.; DE DATTA, S. K.; OTTOW, J. C. G. Nitrogen uptake and recovery from urea green manure in lowland rice measured by  $^{15}\text{N}$  and non-isotope techniques. **Plant and Soil**, The Hague, v. 148, p. 91-99, 1993.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa-SPI/Embrapa-CNPS, 1999. 412 p.
- FRYE, W. W.; SMITH, W. G.; WILLIAMS, R. J. Economics of winter cover crops as a source of nitrogen for no-till corn. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 40, p. 246-249, 1985.
- HARRIS, G. H.; HESTERMAN, O. B. Quantifying the nitrogen contribution from alfalfa to soil and two succeeding crops using nitrogen-15. **Agronomy Journal**, Madison, v. 82, p. 129-134, 1990.
- HARRIS, G. H.; HESTERMAN, O. B.; PAUL, E. A.; PETERS, S. E.; JANKE, R. R. Fate of legume and fertilizer nitrogen-15 in a long term cropping systems experiment. **Agronomy Journal**, Madison, v. 86, p. 910-915, 1994.
- HESTERMAN, O. B.; RUSSELLE, M. P.; SHEAFFER, C. C.; HEICHEL, G. H. Nitrogen utilization from fertilizer and legume residues in legume-corn rotations. **Agronomy Journal**, Madison, v. 79, p. 726-731, 1987.
- KANG, B. T.; SIPKENS, L.; WILSON, G. F.; NANGJU, D. Leucaena (*Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit) prunings as nitrogen source for maize (*Zea mays* L.). **Fertilizer Research**, The Hague, v. 2, p. 279-287, 1981.
- KANTHACK, R. A. D.; MASCARENHAS, H. A. A.; CASTRO, O. M. de; TANAKA, R. T. Nitrogênio aplicado em cobertura no milho após tremoço. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 1, p. 99-104, jan. 1991.
- KUNDU, D. K.; RAO, K. V.; PILLAI, K. G. Agronomic efficiency of green-manure and urea nitrogen in wetland rice (*Oryza sativa*) as influenced by seasonal conditions. **Indian Journal of Agricultural Science**, New Delhi, v. 61, p. 422-424, 1991.
- LADD, J. N.; AMATO, M. The fate of nitrogen from legume and fertilizer sources in soils successively cropped with wheat under field conditions. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 18, p. 417-425, 1986.
- PARKINSON, J. A.; ALLEN, S. E. A wet oxidation procedure suitable for the determination of nitrogen and mineral nutrients in biological material. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 6, n. 1, p. 1-11, 1975.

- PATIL, R. G.; SARKAR, M. C. Influence of urea and green manure on uptake of labeled N and total N by rice grown on soil previously amended with wheat straw. **Journal of Nuclear Agriculture and Biology**, New Delhi, v. 20, p. 190-198, 1991.
- PETERSON, T. A.; VARVEL, G. E. Crop yield as affected by rotation and nitrogen rate – III: corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 81, p. 735-738, 1989.
- PÖTTKER, D.; ROMAN, E. S. Efeito de resíduos de culturas e do pousio de inverno sobre a resposta do milho a nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 5, p. 763-770, maio 1994.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M. E.; LOPES, A. S. **BATAGLIA, O. C. Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170 p.
- REKHI, R. S.; BAJWA, M. S. Effect of green manure on the yield, N uptake and floodwater properties of a flooded rice, wheat rotation receiving  $^{15}\text{N}$  urea on a highly permeable soil. **Fertilizer Research**, The Hague, v. 34, p. 15-22, 1993.
- TRIVELIN, P. C. O.; SALATI, E.; MATSUI, E. **Preparo de amostras para análise de  $^{15}\text{N}$  por espectrometria de massas**. Piracicaba: Centro de Energia Nuclear na Agricultura, 1973. 41 p. (Boletim Técnico, 2).