

SEÇÃO VIII - FERTILIZANTES E CORRETIVOS

UTILIZAÇÃO DE NITROGÊNIO DE ADUBOS VERDE E MINERAL PELO MILHO⁽¹⁾

W. B. SCIVITTARO⁽²⁾, T. MURAOKA⁽³⁾,
A. E. BOARETTO⁽³⁾ & P. C. O. TRIVELIN⁽³⁾

RESUMO

Desenvolveu-se, na Estação Experimental de Piracicaba - Instituto Agrônômico (SAA-SP), de março/94 a setembro/95, um experimento para avaliar o potencial de fornecimento de nitrogênio de adubos, verde e mineral, aplicados, de forma exclusiva ou combinada, na cultura do milho. Em uma primeira fase, produziram-se, simultaneamente, mucuna-preta sem marcação isotópica no campo e adubo verde marcado com ¹⁵N em casa de vegetação e, na segunda, a mucuna-preta foi incorporada ao solo, cultivando-se, em seguida, milho. O experimento constou dos seguintes tratamentos: testemunha, ¹⁵N-mucuna-preta (4,4 t ha⁻¹ de matéria seca e 25,8 g kg⁻¹ de N), ¹⁵N-uréia (50 e 100 kg ha⁻¹ de N) e as possíveis combinações de mucuna-preta e uréia marcadas ou não com ¹⁵N. Esses foram dispostos em delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro repetições. O solo forneceu a maior parte do N acumulado nas plantas de milho, seguido, em ordem decrescente, pela uréia e mucuna-preta. A contribuição da uréia para o N acumulado nas plantas de milho foi proporcional à dose aplicada. O aproveitamento de nitrogênio da uréia pelo milho foi maior que o da mucuna-preta, sendo os melhores efeitos proporcionados pela combinação das duas fontes.

Termos de indexação: ¹⁵N, mucuna-preta, *Mucuna aterrima*, uréia, recuperação.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado apresentada pelo primeiro autor ao Curso de Pós-Graduação em Ciências do Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA/USP. Trabalho financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP. Recebido para publicação em outubro de 1999 e aprovado em junho de 2000.

⁽²⁾ Pesquisadora da Embrapa Clima Temperado. BR 392, km 78. Caixa Postal 403, CEP 96001-970 Pelotas (RS). E-mail: wbscivit@cpact.embrapa.br

⁽³⁾ Pesquisador do Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA/USP. Av. Centenário 303. Caixa Postal 96, CEP 13400-970 Piracicaba (SP).

SUMMARY: *USE OF NITROGEN FROM GREEN MANURE AND UREA BY CORN*

*An experiment was carried out at the Instituto Agronômico (SAA-SP) Experimental Station, in Piracicaba-SP, from March/94 to April/95, to evaluate the potential of velvet bean (*Mucuna aterrima*) green manure and urea, applied alone or combined, to supply nitrogen to corn crop. The experiment consisted of a preliminary phase for the production of velvet bean under field conditions and for the production of green manure labeled with ^{15}N under greenhouse conditions. The green manure was later incorporated to the soil and corn was grown. The treatments were: control; ^{15}N labeled green manure (4.4 t ha^{-1} of dry matter and 25.8 g kg^{-1} of N); ^{15}N labeled urea (50 and 100 kg ha^{-1} of N); and the combinations of green manure and urea labeled or not with ^{15}N . The experimental design was a randomized block with four replicates. Most of the accumulated N by corn was supplied by the soil, followed by urea and velvet bean. Urea contribution to accumulated N in corn was proportional to the applied rate. Utilization of urea N by corn was greater than that of green manure, with the best effects provided by the combination of the two sources.*

Index terms: ^{15}N , velvet bean, *Mucuna aterrima*, urea, recuperation.

INTRODUÇÃO

Nas últimas três décadas, grande parte do nitrogênio exigido pelas culturas tem sido suprida por fontes minerais. A crescente preocupação com a poluição das águas e atmosfera pelo uso indiscriminado e ineficiente de fertilizantes nitrogenados tem estimulado, porém, a busca de alternativas que possibilitem a substituição integral ou parcial desses insumos.

Na produção de cereais, o cultivo de leguminosas, como adubos verdes, durante o período de pousio, tem sido considerado alternativa promissora para atender à demanda de nitrogênio das culturas, considerando o seu potencial de fixação biológica de N_2 (Jans-Hammermeister et al., 1994). Em acréscimo, as leguminosas atuam na conservação do solo por meio de alterações em suas condições físicas, químicas e biológicas, bem como na interação desses fatores (Oliveira, 1994).

A despeito dos benefícios potenciais da adubação verde sobre atributos do solo e rendimento das culturas, sua adoção como prática comum de manejo de culturas ainda não é uma realidade, requerendo, para expandir-se, a comprovação de sua viabilidade técnica e econômica. Nos últimos anos, visando suprir essa demanda de informações, a pesquisa tem empreendido estudos para avaliar os efeitos da adubação verde, com ênfase na determinação do potencial de fornecimento de N para culturas subsequentes (Azam et al., 1985; Hesterman et al., 1987; Harris & Hesterman, 1990; Rees et al., 1993).

Sob o aspecto técnico, a decomposição e a mineralização dos adubos verdes são condições fundamentais para que o nitrogênio neles contido

passa a formas disponíveis às plantas, condicionando sua eficiência como fonte do nutriente. Fatores externos, como condições ambientais (Janzen & Radder, 1989; Stanford & Smith, 1972), tipo de solo (Ladd et al., 1981; Janns-Hammermeister et al., 1994) e forma de manejo (Wilson & Hargrove, 1986; Janzen & Radder, 1989), e inerentes aos adubos verdes (Palm & Sanchez, 1991; Smith & Sharpley, 1993), exercem grande influência sobre tais processos, devendo ser compreendidos e, na medida do possível, controlados para que otimizem os efeitos da adubação verde.

Comparativamente aos fertilizantes minerais, a eficiência dos adubos verdes como fonte de nitrogênio para as culturas tem sido baixa, raramente ultrapassando 20% no primeiro cultivo após a aplicação (Ladd et al., 1981; Harris & Hesterman, 1990; John et al., 1992; Rees et al., 1993). A principal implicação desse desempenho é que, muitas vezes, a quantidade de N fornecido pelos adubos verdes não é suficiente para suprir as necessidades das culturas e lhes garantir máximo rendimento, fazendo-se necessária a suplementação por meio de fontes minerais. Em razão desse fato, acredita-se que a combinação de adubos verdes e fertilizantes minerais seja uma alternativa de manejo mais viável, por reunir os efeitos imediatos e a longo prazo desses materiais. Postula-se, ainda, que o uso associado de adubos verdes e minerais otimize a eficiência de utilização do nitrogênio de ambas as fontes (Frye et al., 1985; Rekhi & Bajwa, 1993).

Este trabalho teve por objetivo avaliar o potencial de fornecimento de nitrogênio de adubos, verde e mineral, aplicados, de forma exclusiva ou combinada, bem como seus efeitos na cultura do milho.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo compreendeu duas fases. Na primeira fase, produziu-se mucuna-preta (*Mucuna aterrima*) sem marcação isotópica, no campo, e essa leguminosa marcada com ^{15}N , em casa de vegetação, e na segunda, a mucuna-preta foi incorporada ao solo, cultivando-se, em seguida, milho. As atividades de campo foram realizadas na Estação Experimental de Piracicaba - Instituto Agrônomo (SAA-SP) e as de casa de vegetação, no Centro de Energia Nuclear na Agricultura - USP, em Piracicaba (SP).

À época da instalação do experimento, o solo da área experimental, um Latossolo Vermelho-Escuro (LE) textura muito argilosa, apresentava a seguinte composição química e granulométrica: pH (CaCl_2) - 4,4; M.O. - 21 g dm^{-3} ; P - 52 mg dm^{-3} ; K - 4,3 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$; Ca - 20 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$; Mg - 13 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$; H + Al - 59 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ (Raij et al., 1987); N - 1,4 g kg^{-1} (Parkinson & Allen, 1975); areia - 210 g kg^{-1} ; silte - 160 g kg^{-1} e argila - 630 g kg^{-1} (Bouyoucos, 1927). A correção da acidez do solo foi feita com um mês de antecedência e consistiu na aplicação de 3 t ha^{-1} de calcário dolomítico (PRNT = 70%).

Para a produção de mucuna-preta no campo, foram utilizadas sementes inoculadas com *Bradyrhizobium* spp. estirpe CM-1545. Essas foram colocadas em sulcos adubados com superfosfato triplo, na dose 21,8 kg ha^{-1} de P (Raij et al., 1996). Utilizaram-se espaçamento entrelinhas de 50 cm e densidade de semeadura de oito sementes por metro. A mucuna-preta foi cultivada por 110 dias. Após, procedeu-se ao corte da leguminosa com roçadeira, mantendo-se os resíduos na superfície do solo. Nessa ocasião, foram demarcadas, na região central das parcelas que previam o emprego de leguminosa marcada com ^{15}N , microparcelas de 1,5 m^2 (1,0 x 1,5 m), das quais se removeu o material vegetal (parte aérea e raízes). Esse material foi seco, pesado e analisado quimicamente, determinando-se os teores de C total, por combustão via seca (Nelson & Sommers, 1982), N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn (Bataglia et al., 1983).

A mucuna-preta marcada com ^{15}N foi produzida em vasos que continham 5,0 kg de solo. Aos vasos, foram aplicados 320 mg kg^{-1} de P, como superfosfato triplo, e, em seguida, realizou-se a semeadura da mucuna-preta, utilizando seis sementes por vaso. Dez dias após a emergência das plantas (DAE), efetuou-se o desbaste, mantendo-se três plantas em cada vaso. Nessa ocasião, iniciou-se a marcação da leguminosa, aplicando-se uma mistura de soluções de uréia e de sulfato de amônio enriquecidas a 10,2 e 5,4% em átomos de ^{15}N , respectivamente. Cada uma das soluções forneceu nitrogênio na dose de 10 mg kg^{-1} de terra. Foram efetuadas, ainda, aos 32, 44, 55, 60 e 65 DAE, aplicações de 10 mg kg^{-1} de N, na forma de soluções de ^{15}N -uréia. Nas três primeiras aplicações, a uréia apresentava 10,2% em átomos de ^{15}N e, nas demais, 30,2% em átomos de ^{15}N .

A colheita das plantas foi realizada 85 dias após a semeadura e consistiu no corte da parte aérea e na remoção das raízes, que foram lavadas em água de torneira e destilada. O material vegetal foi seco em estufa, picado, pesado para determinação da produção de matéria seca e amostrado para a realização de análises químicas (Nelson & Sommers, 1982; Bataglia et al., 1983) e isotópica (Trivelin et al., 1973). Concluídos os procedimentos descritos, efetuou-se a aplicação da mucuna-preta marcada com ^{15}N nas microparcelas, em substituição ao material retirado do campo. As raízes foram enterradas em sulcos, abertos nas posições onde se situavam as linhas de plantio do adubo verde, e o material relativo à parte aérea foi espalhado sobre o solo.

O experimento compreendeu oito tratamentos: testemunha, mucuna-preta marcada com ^{15}N , uréia dose 1 marcada com ^{15}N , uréia dose 2 marcada com ^{15}N , mucuna-preta marcada com ^{15}N + uréia dose 1, mucuna-preta marcada com ^{15}N + uréia dose 2, mucuna-preta + uréia dose 1 marcada com ^{15}N e mucuna-preta + uréia dose 2 marcada com ^{15}N . As doses 1 e 2 de uréia corresponderam a 50 e 100 kg ha^{-1} de N. Os tratamentos foram dispostos em delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições. Como unidade experimental, foram consideradas parcelas de 60 m^2 (6,0 x 10,0 m), que continham ou não, de acordo com o tratamento, microparcela para a aplicação de adubo verde ou mineral isotopicamente marcado.

Quatro meses após o corte do adubo verde cultivado no campo, procedeu-se à incorporação dos resíduos ao solo. Em seguida, foram abertos sulcos, distanciados de 1,0 m, destinados à semeadura do milho cv. AG403-B. A semeadura de seis sementes de milho por metro foi realizada após a adubação com superfosfato triplo (17,5 kg ha^{-1} de P) e cloreto de potássio (24,9 kg ha^{-1} de K). Nos tratamentos que previam o emprego de N mineral, adicionaram-se também 15 kg ha^{-1} de N, como uréia, exceção feita às áreas pertencentes às microparcelas destinadas à aplicação de uréia marcada, onde esse fertilizante foi aplicado, após a semeadura, como solução enriquecida com ^{15}N (10,2% em átomos de ^{15}N). O restante da adubação nitrogenada, prevista nos tratamentos, foi aplicado em cobertura, parcelado aos 30 e 45 dias da semeadura, na dose 1, e aos 30, 45 e 55 dias da semeadura, na dose 2. As quantidades de N aplicadas no parcelamento foram: 15 e 20 kg ha^{-1} e 25, 30 e 30 kg ha^{-1} , para as doses 1 e 2, respectivamente. Nas microparcelas, adicionaram-se soluções de uréia (10,2% em átomos de ^{15}N).

Foi realizada uma amostragem de planta para análise química e isotópica, aos 85 dias da semeadura, colhendo-se a parte aérea de quatro plantas de milho de cada microparcela. O material colhido foi dividido em colmo e folhas, grãos, sabugo e palha. A colheita do milho foi realizada 135 dias após a semeadura e compreendeu a remoção das

espigas, com grãos imaturos, de 20 m² de cada parcela. Após secagem, as espigas foram debulhadas para determinação do rendimento de grãos, cujos valores foram corrigidos para 120 g kg⁻¹ de umidade.

Os tratamentos foram avaliados pelo rendimento de grãos, produção de matéria seca, concentração de nitrogênio, quantidade de nitrogênio acumulado nas plantas de milho, quantidades de nitrogênio no milho provenientes dos adubos verde e mineral e aproveitamento de nitrogênio dos referidos adubos pelo milho. Os procedimentos estatísticos constaram da análise de variância e aplicação do teste de Tukey, a 5%, para comparação de médias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos resultados referentes às variáveis rendimento de grãos, produção de matéria seca, concentração de nitrogênio e quantidade de nitrogênio absorvido pelas plantas de milho, consideraram-se apenas seis tratamentos (T1 a T6), uma vez que, para essas variáveis, os tratamentos T5 e T6 são iguais a T7 e T8, respectivamente.

Produção e caracterização da mucuna-preta

A quantidade de matéria seca e os teores de carbono, macro e micronutrientes determinados para a mucuna-preta produzida no campo atingiram, respectivamente, 4,4 t ha⁻¹; 434 g kg⁻¹ de C; 25,8 g kg⁻¹ de N; 1,7 g kg⁻¹ de P; 16,2 g kg⁻¹ de K; 13,8 g kg⁻¹ de Ca; 2,8 g kg⁻¹ de Mg; 2,5 g kg⁻¹ de S; 12 mg kg⁻¹ de Cu; 640 mg kg⁻¹ de Fe; 242 mg kg⁻¹ de Mn e 27 mg kg⁻¹ de Zn. Em decorrência de períodos de precipitação pluviométrica insuficiente e de baixas temperaturas durante o cultivo, o rendimento de matéria seca da mucuna-preta foi pequeno em relação ao seu potencial produtivo (Wutke, 1993); equiparou-se, porém, ao determinado por De-Polli & Chada (1989) em um cultivo de outono/inverno. A composição química da mucuna-preta produzida em casa de vegetação foi semelhante à da leguminosa produzida no campo. O enriquecimento isotópico determinado

para esse material foi de 2,383% em átomos de ¹⁵N, valor suficiente para o experimento realizado, porém inferior ao previsto, considerando as freqüentes aplicações de fertilizante com elevado enriquecimento em ¹⁵N. A diluição isotópica verificada foi devida à fixação biológica de N, comprovada pela presença de nódulos radiculares ativos. Notou-se, ainda, uniformidade de marcação entre a parte aérea e as raízes das plantas.

Rendimento de grãos

O rendimento de grãos (Quadro 1) obtido pela aplicação de mucuna-preta associada a 100 kg ha⁻¹ de N-uréia foi estatisticamente superior ao verificado para a testemunha; não diferiu, porém, do rendimento dos demais tratamentos. Por outro lado, o efeito do tratamento testemunha sobre o rendimento de grãos da cultura do milho foi estatisticamente semelhante ao dos demais tratamentos, que também não diferiram entre si. Tais resultados divergem dos relatados por Frye et al. (1985), que obtiveram maior rendimento de grãos para os tratamentos com combinações entre adubo verde e mineral, relativamente ao uso exclusivo desses materiais.

Produção de matéria seca

O quadro 2 apresenta os valores de produção de matéria seca das plantas de milho, amostradas 85 dias após a semeadura. Não foram verificadas diferenças estatísticas entre os tratamentos para os componentes sabugo e palha. Os tratamentos em que se fez uso exclusivo de adubo verde ou mineral não diferiram estatisticamente da testemunha para colmo e folhas, grãos e parte aérea. Para a parte aérea, o tratamento com associação entre mucuna-preta e uréia dose 2 foi superior à testemunha e aos tratamentos com uso exclusivo de mucuna-preta e uréia dose 1, indicando que, quando combinadas, mucuna-preta e uréia podem apresentar efeito complementar sobre o rendimento de matéria seca do milho, superando os efeitos individuais dos adubos, verde e mineral. Comportamento semelhante foi descrito por Xu et al. (1993) e Rees et al. (1993). Por outro lado, Azam et al. (1985) e Patil & Sarkar

Quadro 1. Rendimento de grãos das plantas de milho colhidas 135 dias após a semeadura

Tratamento						Média	C.V.
T1	T2	T3	T4	T5	T6		
t ha ⁻¹							%
3,00 b	3,70 ab	4,26 ab	4,94 ab	5,17 ab	5,45 a	4,42	22

T1: testemunha; T2: mucuna-preta ¹⁵N; T3: uréia ¹⁵N dose 1; T4: uréia ¹⁵N dose 2; T5: mucuna-preta ¹⁵N + uréia dose 1; T6: mucuna-preta ¹⁵N + uréia dose 2.

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Quadro 2. Matéria seca produzida pelas plantas de milho amostradas 85 dias após a semeadura

Tratamento	Colmo e folha	Grão	Sabugo	Palha	Parte aérea
T1	4,83 c	1,36 c	0,63 a	1,03 a	7,85 c
T2	5,54 bc	1,56 bc	0,69 a	1,07 a	8,86 c
T3	6,02 bc	1,82 abc	0,75 a	1,24 a	9,82 bc
T4	6,58 abc	2,05 abc	0,76 a	1,30 a	10,70 abc
T5	7,52 ab	2,27 ab	0,85 a	1,34 a	11,98 ab
T6	8,14 a	2,52 a	0,90 a	1,40 a	12,96 a
Média	6,44	1,93	0,76	1,23	10,36
C.V. (%)	14	19	16	13	13

T1: testemunha; T2: mucuna-preta ¹⁵N; T3: uréia ¹⁵N dose 1; T4: uréia ¹⁵N dose 2; T5: mucuna-preta ¹⁵N + uréia dose 1; T6: mucuna-preta ¹⁵N + uréia dose 2.

Médias seguidas da mesma letra, na vertical, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

(1991) verificaram maior rendimento de matéria seca com o uso exclusivo de N mineral, superando os efeitos do uso exclusivo de adubo verde ou de sua combinação a uma fonte mineral de N.

Em combinação ou não com a mucuna-preta, não houve efeito significativo da dose de uréia utilizada, 50 ou 100 kg ha⁻¹ de N, sobre a matéria seca produzida pelas plantas de milho, confirmando dados de Xu et al. (1993). É possível que a ausência de resposta à elevação do nível de N esteja relacionada com o potencial de fornecimento de nitrogênio do solo que, por ser alto, deve ter suprido grande parte das exigências de N do milho.

Utilização de nitrogênio pelo milho

Os dados de concentração de nitrogênio nas plantas de milho são apresentados no quadro 3. Notou-se efeito dos tratamentos para colmo e folhas e grãos. Para colmo e folhas, a combinação mucuna-preta + uréia dose 2 (T6) proporcionou maior concentração de N relativamente aos demais tratamentos; com exceção do tratamento T4 (uréia dose 2), cujo desempenho equiparou-se ao de T6. Por sua vez, nos grãos, apenas a concentração de N do tratamento testemunha (T1) foi menor que a observada para T6 (mucuna-preta + uréia dose 2); os demais tratamentos foram semelhantes entre si, não diferindo de T1 ou de T6.

No quadro 4, são apresentadas as quantidades de nitrogênio acumuladas nas plantas de milho, amostradas aos 85 dias da semeadura. À semelhança do observado para a variável produção de matéria seca, não houve efeito dos tratamentos sobre a quantidade de N acumulado no sabugo e na palha. O uso de mucuna-preta associada à maior dose de uréia proporcionou os melhores resultados para colmo e folhas e para a parte aérea. Os demais

Quadro 3. Concentração de nitrogênio nas plantas de milho amostradas 85 dias após a semeadura

Tratamento	Colmo e folha	Grão	Sabugo	Palha
T1	6,6 c	18,3 b	4,8 a	5,0 a
T2	9,4 b	20,8 ab	5,1 a	6,3 a
T3	9,0 b	19,2 ab	4,8 a	5,4 a
T4	10,2 ab	21,0 ab	5,4 a	5,9 a
T5	8,9 b	20,9 ab	4,8 a	5,2 a
T6	11,9 a	23,0 a	5,1 a	5,5 a
Média	9,4	20,6	5,1	5,6
C.V. (%)	10	5	7	18

T1: testemunha; T2: mucuna-preta ¹⁵N; T3: uréia ¹⁵N dose 1; T4: uréia ¹⁵N dose 2; T5: mucuna-preta ¹⁵N + uréia dose 1; T6: mucuna-preta ¹⁵N + uréia dose 2.

Médias seguidas da mesma letra, na vertical, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

tratamentos não diferiram entre si, exceção feita para a testemunha, que apresentou desempenho comparável, apenas, aos dos tratamentos com uso exclusivo de mucuna-preta ou de uréia dose 1. Para os grãos, os tratamentos: uréia dose 2 e com associações entre adubo verde e mineral foram estatisticamente semelhantes, destacando-se o efeito da combinação entre mucuna-preta e uréia dose 2, que foi superior aos demais tratamentos. A testemunha promoveu menor acúmulo de N nos grãos, não diferindo, porém, dos tratamentos mucuna-preta e uréia dose 1. O pior desempenho da testemunha era previsível, dada a ausência de

suplementação ao nitrogênio do solo por uma fonte externa; todavia, a equiparação de seu efeito ao do uso exclusivo de mucuna-preta e uréia dose 1 indica que esses tratamentos não supriram as necessidades de N da cultura. Com base nesses resultados, pode-se inferir que, em parte, as menores produções obtidas com os tratamentos T2 (mucuna-preta) e T3 (uréia dose 1) deveram-se à restrição de nitrogênio.

Na presença de mucuna-preta, a quantidade de N acumulado no colmo e folhas e na parte aérea das plantas de milho aumentou com a dose de N-uréia aplicada, não havendo diferenças significativas para os níveis de uréia, na ausência do adubo verde (Quadro 4). Isso indica que a associação entre adubo verde e mineral exerceu efeito sinérgico sobre o acúmulo de N pelo milho, possivelmente estimulando a absorção de N do fertilizante. Efeito semelhante

foi descrito por Rekhi & Bajwa (1993) para a cultura do arroz.

A contribuição da mucuna-preta para o fornecimento de nitrogênio para as plantas de milho foi pequena, representando, no máximo, 10% do total acumulado na parte aérea das plantas (Quadro 5). É possível que esse resultado se deva à imobilização e a perdas, por diferentes mecanismos, do nitrogênio do adubo verde, ocorridas no período que antecedeu sua incorporação ao solo e durante o cultivo do milho. Em acréscimo, ressalta-se que os valores apresentados no quadro 5 desconsideram o N contido no sistema radicular do milho, representando uma subestimativa do total acumulado nas plantas, visto que grande parte do nitrogênio do adubo verde absorvido por plantas de milho fica retida nas raízes (Azam et al., 1995).

Quadro 4. Nitrogênio acumulado nas plantas de milho amostradas 85 dias após a semeadura

Tratamento	Colmo e folha	Grão	Sabugo	Palha	Parte aérea
T1	32,42 c	24,32 c	3,15 a	5,20 a	65,15c
T2	51,82 bc	32,65 bc	3,20 a	6,58 a	94,20 bc
T3	53,87 bc	34,55 bc	3,72 a	6,50 a	98,75 bc
T4	66,82 b	42,88 ab	3,85 a	7,45 a	121,02 b
T5	66,52 b	47,25 ab	3,85 a	6,65 a	124,25 b
T6	96,56 a	57,20 a	4,32 a	7,35 a	165,35 a
Média	61,34	39,81	3,68	6,62	111,45
C.V. (%)	19	19	25	21	15

T1: testemunha; T2: mucuna-preta ¹⁵N; T3: uréia ¹⁵N dose 1; T4: uréia ¹⁵N dose 2; T5: mucuna-preta ¹⁵N + uréia dose 1; T6: mucuna-preta ¹⁵N + uréia dose 2.

Médias seguidas da mesma letra, na vertical, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Quadro 5. Percentagens (NMPAV) e quantidades (QNMPAV) de nitrogênio no milho provenientes do adubo verde, em amostragem realizada 85 dias após a semeadura

Tratamento	Colmo e folha		Grão		Sabugo		Palha		Parte aérea
	NMPAV	QNMPAV ⁽¹⁾	NMPAV	QNMPAV	NMPAV	QNMPAV	NMPAV	QNMPAV	QNMPAV ⁽¹⁾
	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹
T2	9,55 a	4,89 a	10,00 a	3,15 a	10,11 a	0,32 a	9,76 a	0,64 a	9,05 a
T5	7,57 a	5,00 a	6,23 b	2,93 a	6,24 b	0,25 a	6,34 b	0,43 b	8,61 a
T6	6,87 a	6,64 a	6,62 b	3,77 a	5,11 b	0,22 a	5,14 b	0,37 b	11,03 a
Média	7,99	5,51	7,62	2,28	7,15	0,26	7,08	0,48	9,56
C.V. (%)	20	12	18	12	11	36	9	14	10

T2: mucuna-preta ¹⁵N; T5: mucuna-preta ¹⁵N + uréia dose 1; T6: mucuna-preta ¹⁵N + uréia dose 2.

⁽¹⁾ Para a análise estatística, os valores foram transformados em \sqrt{x} .

Médias seguidas da mesma letra, na vertical, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Ainda do quadro 5, observa-se que, para os grãos, sabugo e palha da espiga, as combinações com uréia provocaram reduções significativas nos percentuais de nitrogênio fornecido pelo adubo verde, não havendo efeito sobre colmo e folhas. Atribui-se esse efeito à ampliação do reservatório de N disponível do solo pela adição de uréia, reduzindo a participação do N da mucuna-preta na nutrição das plantas. A variação na dose de uréia não influenciou o fornecimento de N do adubo verde para as plantas de milho, discordando dos resultados obtidos por Hesterman et al. (1987).

De maneira geral, não houve efeito dos tratamentos sobre a quantidade de N no milho proveniente do adubo verde (Quadro 5), exceção feita para a palha da espiga, em que a contribuição da mucuna-preta foi significativamente menor em presença da uréia.

As percentagens de nitrogênio no milho proveniente do fertilizante mineral variaram, predominantemente, de acordo com a dose aplicada (Quadro 6). Para colmo e folhas, grãos e palha, a contribuição da dose 2 de uréia (100 kg ha⁻¹ de N) foi significativamente superior à da dose 1 (50 kg ha⁻¹ de N), não havendo influência da presença ou não de mucuna-preta sobre esse efeito. O comportamento verificado pode ser explicado pela maior disponibilidade de N para as plantas, quando da aplicação da dose 2 de uréia, uma vez que representa adições de N duas vezes maiores que as da dose 1. No sabugo, observou-se efeito da dose de N aplicada e influência da presença de adubo verde, ou seja, a contribuição do N da uréia no tratamento T8 (uréia dose 2 em presença de adubo verde) foi maior que em T7 (uréia dose 1 em presença de adubo verde), porém não diferiu estatisticamente de T3 (uréia dose 1). Acredita-se que esse efeito resulte da

imobilização de N do fertilizante pela biomassa microbiana, que o utiliza na decomposição e mineralização dos resíduos do adubo verde.

A participação da uréia no fornecimento de N para as plantas de milho foi superior à da mucuna-preta, indicando maior disponibilidade de N da fonte mineral (Quadros 5 e 6), confirmando resultados obtidos por Patil & Sarkar (1991).

As contribuições do solo, adubo verde e fertilizante mineral para o nitrogênio acumulado nas plantas de milho são ilustradas na figura 1. O solo foi a principal fonte de nitrogênio para as plantas, demonstrando elevado potencial de fornecimento do nutriente. Esse resultado diferiu do obtido por Azam et al. (1985) em solo com baixo teor de N, onde a contribuição das três fontes foi equitativa. Por sua vez, Hesterman et al. (1987) verificaram que os solos de textura grosseira mostraram pequena participação no fornecimento de N para as plantas, relativamente a adubos verdes e minerais.

A absorção de N do solo foi estimulada pela presença de mucuna-preta e, ou, de uréia, tendo esse efeito sido mais intenso para os tratamentos com uso combinado de adubos, verde e mineral (Figura 1). Esse efeito, conhecido como "priming", é relatado com frequência na literatura em resposta à aplicação de fertilizantes minerais (Hesterman et al., 1987; Westcott & Mikkelsen, 1987; Rees et al., 1993). Todavia, Azam et al. (1995) e Harris et al. (1994) reportaram-se ao mesmo efeito, como resultante da aplicação de resíduos orgânicos ricos em N. A constatação de efeito "priming" é um indício de que os benefícios atribuídos ao N de adubo verde ou mineral adicionado ao solo são superestimados, visto que o maior acúmulo de N pelas plantas, em resposta ao uso desses materiais, é devido ao estímulo da absorção de N do solo.

Quadro 6. Percentagens (NMPF) e quantidades (QNMPF) de nitrogênio no milho provenientes do fertilizante mineral, em amostragem realizada 85 dias após a semeadura

Tratamento	Colmo e folha		Grão		Sabugo		Palha		Parte aérea
	NMPAV	QNMPAV ⁽¹⁾	NMPAV ⁽¹⁾	QNMPAV ⁽¹⁾	NMPAV	QNMPAV	NMPAV ⁽¹⁾	QNMPAV	QNMPAV ⁽¹⁾
	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹
T3	22,11 b	11,92 c	16,88 b	5,89 b	18,91 bc	0,69 bc	20,32 b	1,33 b	20,67 c
T4	32,62 a	21,48 b	29,26 a	12,23 a	32,62 a	1,25 a	32,93 a	2,46 a	37,60 b
T7	19,55 b	13,14 c	14,33 b	6,89 b	15,54 c	0,59 c	16,73 b	1,13 b	21,75 c
T8	33,07 a	30,20 a	31,74 a	16,35 a	29,16 ab	1,21 ab	30,17 a	2,16 a	50,03 a
Média	26,84	19,18	23,05	10,34	23,98	0,94	25,04	1,77	32,52
C.V. (%)	10	12	12	11	22	26	8	19	12

T3: uréia ¹⁵N dose 1; T4: uréia ¹⁵N dose 2; T7: mucuna-preta + uréia ¹⁵N dose 1; T8: mucuna-preta + uréia ¹⁵N dose 2.

⁽¹⁾ Para a análise estatística, os valores foram transformados em \sqrt{x} .

Médias seguidas da mesma letra, na vertical, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

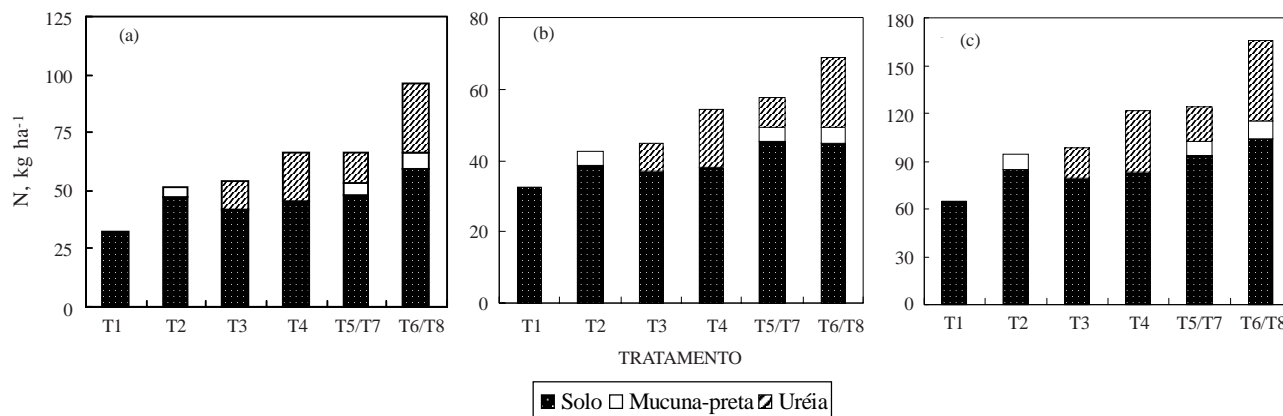


Figura 1. Contribuições do solo, adubo verde e fertilizante mineral para o N acumulado no colmo e folhas (a); espiga (b) e parte aérea (c) das plantas de milho, em amostragem realizada 85 dias após a semeadura (T1: testemunha; T2: mucuna-preta ¹⁵N; T3: uréia ¹⁵N dose 1; T4: uréia ¹⁵N dose 2; T5: mucuna-preta ¹⁵N + uréia dose 1; T6: mucuna-preta ¹⁵N + uréia dose 2; T7: mucuna-preta + uréia ¹⁵N dose 1; T8: mucuna-preta + uréia ¹⁵N dose 2).

A recuperação de N do fertilizante mineral pela parte aérea do milho foi maior que a do adubo verde (Quadros 7 e 8). A utilização de N da mucuna-preta pelo milho variou de 10% a 14%, valores esses próximos aos obtidos por Azam et al. (1985); Westcott & Mikkelsen (1987); Harris & Hesterman (1990); Patil & Sarkar (1991); Harris et al. (1994). Da mesma forma, os valores de aproveitamento de N do fertilizante mineral encontrados, em média, 39% na ausência de mucuna-preta e 47% na presença, assemelharam-se aos relatados por Hesterman et al. (1987); Patil & Sarkar (1991) e Harris et al. (1994). Admite-se que a menor eficiência de utilização do N da mucuna-preta relativamente à uréia se deva à imobilização do N do adubo verde incorporado ao solo, evidenciando superioridade da uréia como fonte de N de liberação rápida para a cultura do milho.

De maneira geral, não houve efeito dos tratamentos sobre o aproveitamento de nitrogênio da mucuna-preta pelas plantas de milho, exceção feita para a palha da espiga, onde a combinação entre adubo verde e uréia dose 2 (T6) proporcionou menor aproveitamento do N da mucuna-preta, relativamente ao uso exclusivo do adubo verde (T2); o tratamento T5 (mucuna-preta + uréia dose 1) não diferiu dos demais (T2 e T6) (Quadro 7). É interessante notar, porém, que as quantidades de N total (Quadro 4) e de N proveniente do adubo verde (Quadro 5) acumuladas nessa parte da planta foram muito pequenas, comparativamente ao restante da parte aérea, daí serem os efeitos para ela verificados de pequena representatividade.

Apenas para colmo e folhas e para a parte aérea das plantas de milho, observou-se influência dos

Quadro 7. Aproveitamento de nitrogênio do adubo verde pelo milho, em amostragem realizada 85 dias após a semeadura

Tratamento	Colmo e folha ⁽¹⁾	Grão ⁽¹⁾	%			Parte aérea ⁽¹⁾
			Sabugo	Palha		
T2	5,18 a	3,34 a	0,34 a	0,69 a	9,60 a	
T5	6,52 a	3,82 a	0,33 a	0,55 ab	11,22 a	
T6	8,64 a	4,92 a	0,30 a	0,49 b	14,37 a	
Média	6,78	4,03	0,32	0,58	11,73	
C.V. (%)	12	12	34	12	10	

T2: mucuna-preta ¹⁵N; T5: mucuna-preta ¹⁵N + uréia dose 1; T6: mucuna-preta ¹⁵N + uréia dose 2.

⁽¹⁾ Para a análise estatística, os valores foram transformados em \sqrt{x} .

Médias seguidas da mesma letra, na vertical, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Quadro 8. Aproveitamento de nitrogênio do fertilizante mineral pelo milho, em amostragem realizada 85 dias após a semeadura

Tratamento	Colmo e folha	Grão	Sabugo	Palha	Parte aérea
	%				
T3	23,83 ab	12,00 a	1,38 a	2,66 a	39,85 b
T4	21,48 b	12,41 a	1,25 a	2,46 a	37,60 b
T7	26,27 ab	13,80 a	1,18 a	2,26 a	43,50 ab
T8	30,20 a	16,46 a	1,21 a	2,16 a	50,03 a
Média	25,44	13,67	1,26	2,39	42,75
C.V. (%)	15	20	23	18	11

T3: uréia ¹⁵N dose 1; T4: uréia ¹⁵N dose 2; T7: mucuna-preta + uréia ¹⁵N dose 1; T8: mucuna-preta + uréia ¹⁵N dose 2. Médias seguidas da mesma letra, na vertical, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

tratamentos sobre o aproveitamento de nitrogênio da uréia (Quadro 8). Para a parte aérea, a combinação de mucuna-preta com 100 kg ha⁻¹ de N-uréia (T8) promoveu maior aproveitamento de N da uréia relativamente ao uso exclusivo de adubo verde (T3 e T4). Por sua vez, para colmo e folhas, o aproveitamento de N da uréia, proporcionado pela associação entre mucuna-preta e uréia dose 2 (T8), foi superior apenas ao determinado para o tratamento T4 (uréia dose 2), não diferindo dos demais.

Tais resultados indicam que a presença do adubo verde pode favorecer a utilização de N da uréia, provavelmente reduzindo seu potencial de perdas do sistema solo-planta, o que diverge dos resultados obtidos por Westcott & Mikkelsen (1987), que não observaram alterações no aproveitamento de N do fertilizante mineral com a presença de adubos verdes. Por sua vez, Azam et al. (1985) relataram que a associação entre adubo verde e mineral reduziu a eficiência de utilização de N da fonte mineral, o que foi atribuído à imobilização de N do fertilizante, propiciada pela incorporação de resíduos de vegetais ao solo.

CONCLUSÕES

1. O solo forneceu a maior parte do N acumulado nas plantas de milho, seguido, em ordem decrescente, pela uréia e mucuna-preta. A contribuição do adubo verde foi reduzida quando de seu uso combinado com o fertilizante mineral.

2. A participação da uréia ao N acumulado nas plantas de milho foi proporcional à dose aplicada.

3. O aproveitamento de nitrogênio da uréia pelo milho foi maior que o da mucuna-preta, tendo sido os melhores efeitos proporcionados pela combinação das duas fontes.

AGRADECIMENTOS

À Agência Internacional de Energia Atômica (Projeto BRA/5/029), pelo apoio à realização deste trabalho.

LITERATURA CITADA

- AZAM, F.; MALIK, K.A. & SAJJAD, M.I. Transformations in soil and availability to plants of ¹⁵N applied as inorganic fertilizer and legume residues. *Plant Soil*, 86:3-13, 1985.
- AZAM, F.; MULVANEY, R.L. & SIMMONS, F.W. Effects of ammonium and nitrate on mineralization of nitrogen from leguminous residues. *Biol. Fertil. Soils*, 20:49-52, 1995.
- 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 Agrônomo, 1983. 48p. (Boletim Técnico, 78)
- BOUYOUCOS, G.J. The hydrometer as a new and rapid method for determining the colloidal content of soils. *Soil Sci.*, 23:319-331, 1927.
- DE-POLLI, H. & CHADA, S.S. Adubação verde incorporada ou em cobertura na produção de milho em solo de baixo potencial de produtividade. *R. Bras. Ci. Solo*, 13:287-293, 1989.
- FRYE, W.W.; SMITH, W.G. & WILLIAMS, R.J. Economics of winter cover crops as a source of nitrogen for no-till corn. *J. Soil Water Conser.*, 40:246-249, 1985.
- HARRIS, G.H. & HESTERMAN, O.B. Quantifying the nitrogen contribution from alfafa to soil and two succeeding crops using nitrogen-15. *Agron. J.*, 82:129-134, 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. *Agron. J.*, 86:910-915, 1994.
- HESTERMAN, O.B.; RUSSELLE, M.P.; SHEAFFER, C.C. & HEICHEL, G.H. Nitrogen utilization from fertilizer and legume residues in legume-corn rotations. *Agron. J.*, 79:726-731, 1987.

- JANS-HAMMERMEISTER, D.C.; MCGILL, W.B. & JENSEN, T.L. Nitrogen accumulations and relative rates of mineralization in two soils following legume green manuring. *Can. J. Soil Sci.*, 74:23-28, 1994.
- JANZEN, H.H. & RADDER, G.D. Nitrogen mineralization in a green manure-amended soil as influenced by cropping history and subsequent crop. *Plant Soil*, 120:125-131, 1989.
- JOHN, P.S.; PANDEY, R.K.; BURESH, R.J. & PRASAD, R. Nitrogen contribution of cowpea green manure and residue to upland rice. *Plant Soil*, 142:53-61, 1992.
- LADD, J.N.; OADES, J.M. & AMATO, M. Distribution and recovery of nitrogen from legume residues decomposing in soils sown to wheat in field. *Soil Biol. Biochem.*, 13:251-256, 1981.
- NELSON, D.W. & SOMMERS, L.E. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H. & KEENEY, D.R., eds. *Methods of soil analysis*. 2.ed. Madison, ASA/SSSA, 1982. p.539-579.
- OLIVEIRA, E.L. Coberturas verdes de inverno e adubação nitrogenada em algodoeiro. *R. Bras. Ci. Solo*, 18:235-241, 1994.
- PALM, C.A. & SANCHEZ, P.A. Nitrogen release from leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. *Soil Biol. Biochem.*, 23:83-88, 1991.
- PARKINSON, J.A. & ALLEN, S.E. A wet oxidation procedure suitable for the determination of nitrogen and mineral nutrients in biological material. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 6:1-11, 1975.
- PATIL, R.G. & SARKAR, M.C. Influence of urea and green manure on uptake of labelled N and total N by rice grown on soil previously amended with wheat straw. *J. Nuclear Agric. Biol.*, 20:190-198, 1991.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agronômico/Fundação IAC, 1996. 285p.
- 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. 170p.
- REES, R.M.; YAN, L. & FERGUSON, M. The release and plant uptake of nitrogen from some plant and animal manures. *Biol. Fertil. Soils*, 15:285-293, 1993.
- 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 ¹⁵N urea on a highly permeable soil. *Fert. Res.*, 34:15-22, 1993.
- SMITH, S.J. & SHARPLEY, A.N. Nitrogen availability from surface-applied and soil-incorporated crop residues. *Agron. J.*, 85:776-778, 1993.
- STANFORD, G. & SMITH, S.J. Nitrogen mineralization potential of soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 36:465-472, 1972.
- TRIVELIN, P.C.O.; SALATI, E. & MATSUI, E. Preparo de amostras para análise de ¹⁵N por espectrometria de massas. Piracicaba, CENA, 1973. 41p. (Boletim Técnico, 2)
- WESTCOTT, M.P. & MIKKELSEN, D.S. Comparison of organic and inorganic nitrogen sources for rice. *Agron. J.*, 79:937-943, 1987.
- WILSON, D.O. & HARGROVE, W.L. Release of nitrogen from crimson clover residue under two tillage systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50:1251-1254, 1986.
- WUTKE, E.B. Adubação verde: manejo da fitomassa e espécies utilizadas no Estado de São Paulo. In: WUTKE, E.B.; BULISANI, E.A. & MASCARENHAS, H.A.A., coords. *Curso sobre adubação verde no Instituto Agronômico*. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1993. p.17-29. (Documentos IAC, 35)
- XU, Z.H.; MYERS, R.J.K.; SAFFIGNA, P.G. & CHAPMAN, A.L. Nitrogen cycling in leucaena (*Leucaena leucocephala*) alley cropping in semi-arid tropics. II. Response of maize growth to addition of nitrogen fertilizer and plant residues. *Plant Soil*, 148:73-82, 1993.