

## **Aproveitamento do Nitrogênio de Plantas de Cobertura pela Cultura do Milho Cultivada com Diferentes Doses de Uréia em Latossolo Vermelho de Cerrado\***

Edson Cabral da Silva<sup>1</sup>, Takashi Muraoka<sup>2</sup>, Paulo César Ocheuze Trivelin<sup>3</sup>, Salatiér Buzetti<sup>4</sup> e Edimilson José Ambrosano<sup>5</sup>

<sup>1,2,3</sup>Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, SP, <sup>1</sup>ecsilva@cena.usp (Bolsistas CNPq/Pós-doutorado), <sup>2</sup>muraoka@cena.usp.br, <sup>3</sup>pcotrive@cena.usp.br; <sup>4</sup>Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, SP, sbuzetti@agr.feis.unesp.br; <sup>5</sup>Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios – APTA Pólo Centro-Sul, Piracicaba, SP, ambrosano@apta.sp.gov.br.

**RESUMO** - A rotação de culturas associada ao uso de plantas de cobertura promove o aporte de quantidades adicionais de resíduos vegetais ao solo, com efeitos diretos e indiretos na disponibilidade de nutrientes para as plantas, especialmente nitrogênio. O objetivo deste estudo foi estimar o aproveitamento do nitrogênio mineralizado dos resíduos de plantas de cobertura, marcadas com <sup>15</sup>N, pela cultura do milho cultivada em sucessão, sob diferentes doses de N (uréia) em semeadura direta. O estudo foi desenvolvido na Fazenda Experimental da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, UNESP, Selvíria, MS, em um Latossolo Vermelho distroférrico, fase cerrado. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com 20 tratamentos e quatro repetições, em esquema fatorial 5x4. Os tratamentos foram quatro espécies de plantas de cobertura: crotalária juncea (*Crotalaria juncea* L.), guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.), mucuna-verde (*Mucuna prurens*); milheto (*Pennisetum glaucum* L.) + a vegetação espontânea (pousio na entressafra) combinadas com quatro doses de N: 0, 30, 90 e 150 kg ha<sup>-1</sup>. A adubação nitrogenada não influenciou o aproveitamento do N mineralizado dos resíduos das plantas de cobertura pelo milho. As leguminosas proporcionam produtividade de grãos de milho equivalente à aplicação de 80 a 108 kg ha<sup>-1</sup> de N, na forma de uréia.

**Palavras-chave:** *Zea mays* L., técnica isotópica, gramíneas, leguminosas, mineralização de N.

### **Introdução**

Os sistemas de preparo intensivo do solo associados com monocultivos aceleram o processo de degradação da matéria orgânica (MOS), principal componente da fertilidade dos solos. A prática de rotação de culturas com a inclusão de plantas de cobertura promove o aporte de resíduos vegetais ao solo e contribui para a manutenção e incremento da MOS. Ao mesmo tempo, promove a ciclagem de nutrientes no solo, tanto daqueles adicionados por meio dos fertilizantes minerais, como dos provenientes da mineralização da MOS, contribuindo para a redução das perdas de nutrientes por lixiviação, principalmente nitrogênio e potássio.

Estudos demonstram que espécies de plantas de cobertura podem proporcionar efeito equivalente a altas doses de N mineral (SILVA et al., 2010; ACOSTA et al., 2011). Silva et al. (2006) verificaram que embora o aproveitamento do N da crotalária juncea tenha sido de 21 kg

---

\* Trabalho desenvolvido com apoio da FAPESP, IAEA, FUNDAÇÃO AGRISUS e CNPq.

ha<sup>-1</sup>, houve efeito equivalente à fertilização com 60 a 90 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de uréia.

O objetivo deste estudo foi estimar o aproveitamento do nitrogênio mineralizado dos resíduos de plantas de cobertura, marcadas com <sup>15</sup>N, pela cultura do milho cultivada em sucessão, sob diferentes doses de N (uréia) em semeadura direta.

### Material e Métodos

O experimento foi desenvolvido na Fazenda Experimental da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP, Selvíria, MS, cujas coordenadas geográficas são 51° 22' W e 20° 22' S e 335 m de altitude. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distroférrico, típico, A moderado, textura argilosa, fase cerrado (EMBRAPA, 2006). Na caracterização química do solo encontrou-se nas camadas de 0 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m, respectivamente: pH (CaCl<sub>2</sub>) 4,9 e 4,7; N total 1,0 e 0,8 g kg<sup>-1</sup>; M.O. 26 e 22 g dm<sup>-3</sup>; P (resina) 30 e 25 mg dm<sup>-3</sup>; Ca 32 e 20 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg 18 e 12 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; K 2,0 e 2,6 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; H+Al 31 e 38 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; S 4,0 e 3,5 mg dm<sup>-3</sup>.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com 20 tratamentos e quatro repetições, dispostos em esquema fatorial 5x4. Os tratamentos foram crotalária juncea, guandu, mucuna-verde, milheto + a vegetação espontânea (pousio na entressafra) combinados com quatro doses de nitrogênio (<sup>15</sup>N), na forma de uréia: 0, 30, 90 e 150 kg ha<sup>-1</sup>.

As espécies de cobertura foram semeadas em 01/09/2010, no espaçamento de 0,40 m para as leguminosas e 0,25 m para o milheto. A marcação isotópica com <sup>15</sup>N foi realizada diretamente no campo, utilizando-se a dose equivalente a 40 kg ha<sup>-1</sup> de N-uréia, enriquecida em 10% de átomos de <sup>15</sup>N em excesso. Aos 72 dias após a semeadura (DAS), foi avaliada a produtividade de matéria seca e, a seguir, procedeu-se a dessecação e o manejo com triturador de palha.

O milho (híbrido simples Pioneer 30F80) foi semeado em 17/11/2010, no espaçamento de 0,90 m entre linhas e 5,8 sementes por metro. As parcelas tiveram dimensões de 8,0 m de largura por 12,0 m de comprimento e os tratamentos que receberam resíduos de plantas de cobertura marcados com <sup>15</sup>N tiveram microparcels próprias de 1,0 x 2,40 m. A adubação de semeadura do milho foi de 90 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, na forma de superfosfato simples e o cloreto de potássio, respectivamente. Exceto para o tratamento testemunha, foi aplicada a dose de 30 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura e o restante em cobertura, no estágio quatro folhas expandidas. Procedeu-se irrigação suplementar por aspersão nos períodos de estiagem prolongada.

A colheita das parcelas e das microparcelas de milho foi realizada em 12/04/2011 e os dados transformados em  $\text{kg ha}^{-1}$ , a 13% de umidade. Posteriormente, foram analisados o teor de N total e a concentração isotópica de  $^{15}\text{N}$  no grão e na palha por espectrometria de massa (IRMS). Os cálculos para a determinação do aproveitamento do N das plantas de cobertura, cognominadas de adubos verdes, foi realizada conforme sequência de cálculos descrita em Silva et al. (2006).

Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando detectados efeitos significativos pelo teste F foram ajustadas equações de regressão, para doses de N. Para o efeito das espécies de cobertura, foi realizada a comparação de médias pelo teste Tukey ( $P < 0,05$ ).

### **Resultados e Discussão**

Aos 72 dias após a semeadura, a produtividade de matéria seca das plantas de cobertura seguiu a ordem decrescente: milho ( $13.65 \text{ t ha}^{-1}$ ) > crotalária juncea ( $8.42 \text{ t ha}^{-1}$ ) > mucuna-verde ( $5.87 \text{ t ha}^{-1}$ ) > guandu ( $5.62 \text{ t ha}^{-1}$ ) > vegetação espontânea - pousio ( $2.96 \text{ t ha}^{-1}$ ). Em estudos anteriores, nesta mesma área, Silva et al. (2010) obtiveram, aos 70 DAS, produtividade de matéria seca na ordem decrescente: crotalária juncea ( $11.25 \text{ t ha}^{-1}$ ) > milho ( $7.43 \text{ t ha}^{-1}$ ) > guandu ( $6.13 \text{ t ha}^{-1}$ ) > mucuna-verde ( $4.02 \text{ t ha}^{-1}$ ) > vegetação espontânea - pousio ( $3.05 \text{ t ha}^{-1}$ ).

A crotalária juncea, o guandu e a mucuna-verde apresentaram maior concentração de N na matéria seca e relação C/N inferior à do milho e da vegetação espontânea (Tabela 1), o que era esperado, por se tratarem de espécies leguminosas (SCIVITTARO et al., 2003). Os maiores teores de lignina ocorreram nos resíduos das três leguminosas e os menores no milho. Esta característica foi oposta à relação C/N destas espécies, que foi maior no milho, decorrente do seu menor teor de N. Os maiores teores de fenóis totais também ocorreram no milho; no entanto, não diferiu significativamente daquele nas três espécies de leguminosas. A suscetibilidade dos resíduos vegetais à decomposição está associada à sua composição química e orgânica, sobretudo aos teores de celulose, hemicelulose, lignina, polifenóis e N e às relações entre constituintes como C/N, C/P, lignina/N, polifenóis/N e lignina + polifenóis/N (SILVA et al., 2006; CARVALHO et al., 2008).

A quantidade total de N acumulado pelo milho (grãos e palha), ou seja, o N na planta proveniente de N nativo do solo, mais o N da uréia e o N dos adubos verdes, a porcentagem (%NPPAV), a quantidade (QNPPAV) e o aproveitamento do N mineralizados dos adubos verdes pelo milho cultivado sobre as espécies leguminosas foram superiores aos do milho cultivado sobre milho (Tabela 2, Figuras 1A e 1B). Tal fato sugere que os resíduos destas espécies

proporcionaram condições mais favoráveis à absorção de N e, conseqüentemente, ao crescimento e desenvolvimento da planta, possivelmente pela sua menor relação C/N (Tabela 1) ter condicionado mais rápida e regular liberação deste e de outros nutrientes mineralizados concomitantemente. Estudos demonstram que a fase que o N é absorvido pela planta influencia diretamente o acúmulo de fitomassa pelo milho (VARVEL et al., 1997; CANTARELLA, 2007).

A maior parte do N acumulado pelo milho, assim como do N proveniente dos adubos verdes, foi alocada nos grãos, evidenciando ser esse o principal dreno do nutriente (Tabela 2). A QNPPAV não diferiu significativamente; no entanto, o aproveitamento, que é relativo à quantidade de N aplicada na forma de resíduo, foi maior nos tratamentos em sucessão à mucuna-verde comparada à crotalária juncea e ao guandu, e muito superior ao do milheto (Figura 1A).

O aproveitamento do N das leguminosas pelo milho variou de 10,36% (crotalária juncea) a 12,97% (mucuna-verde) (Tabela 2; Figura 1B) e não foi influenciado pela associação de adubos verdes com uréia. Esses valores são próximos aos observados para o aproveitamento do N de leguminosas por Scivittaro et al. (2003), de 10 a 14%, que, por sua vez, também não observaram influência da associação com uréia sobre a utilização do N de adubos verdes pelo milho. Já Silva et al. (2006) verificaram um efeito sinérgico de doses de N sobre o aproveitamento do N de adubos verdes pelo milho. Os resultados obtidos neste estudo também são próximos aos obtidos por Acosta et al. (2011), que estimaram aproveitamento do N da ervilhaca pelo milho de, em média, 12,3%. Neste estudo, embora a leguminosa não tenha sido diretamente a principal fonte nitrogenada do milho, a produtividade de grãos, sem adubação mineral, alcançou 8,2 t ha<sup>-1</sup>.

Considerando-se os valores de aproveitamento do N dos adubos verdes (Tabela 2) com a quantidade deste nutriente aportada ao solo pelos resíduos, com base na produtividade de matéria seca e nos respectivos teores de N (Tabela 1), que foram equivalentes a 157,8; 115,5; 144,9; 106,8 e 42,0 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente, para crotalária juncea, guandu, mucuna-verde e milheto, verifica-se que, em média, em torno de 88% do N das leguminosas e 97% do N do milheto não foi aproveitado pelo milho em sucessão. Neste aspecto, estudos demonstram que a maior proporção do N dos adubos verdes acumula-se no solo, predominantemente sob forma de N orgânico (HARRIS e HESTERMAN, 1990; SCIVITTARO et al., 2003; SILVA et al., 2006).

As maiores respostas em produtividades de grãos de milho, nos tratamentos em que não foi aplicado N e com aplicação somente na semeadura, foram obtidas com o cultivo anterior de leguminosas, comparado ao uso de milheto ou de solo em pousio na entressafra (Tabela 3). Ao

mesmo tempo, à exceção dos tratamentos que receberam 150 kg ha<sup>-1</sup> de N e com uso do solo em pousio, independente da dose de N, as maiores produtividades de grãos foi também para o milho cultivado em sucessão às leguminosas, que não diferiram entre si, dentro da respectiva dose.

Com base na produtividade dos tratamentos em sucessão às leguminosas e sem aplicação de N mineral, a resposta em produtividade de grãos seria equivalente à aplicação de 80 e 108 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente, para o milho cultivado sobre no solo em pousio e em sucessão ao milheto (Figura 2). Vale ressaltar que embora tenha havido resposta linear em produtividade de grãos em relação ao aumento da dose de N (Figura 2), com o uso de leguminosas, a aplicação de apenas 30 kg de N na semeadura proporcionou produtividade acima de 7 t ha<sup>-1</sup> de grãos. Também, a diferença em produtividade entre os tratamentos que receberam 90 ou 150 kg ha<sup>-1</sup> de N não é viável sob o ponto de vista econômico, considerando-se o custo do fertilizante e da sua aplicação. Assim, para a recomendação de N para o milho em sucessão a leguminosas, deve ser considerado, dentre outros fatores, o nível de tecnologia e a expectativa de produtividade grãos; já que, com produtividade adequada de matéria seca, as leguminosas podem proporcionar produtividade de grãos acima de 6 t ha<sup>-1</sup> sem a aplicação de N mineral.

### **Conclusões**

A adubação nitrogenada não influenciou o aproveitamento do nitrogênio mineralizado dos resíduos das plantas de cobertura pelo milho.

A maior parte do N dos resíduos das plantas de cobertura não foi absorvido pelo cultivo imediato de milho.

As leguminosas proporcionaram produtividade de grãos de milho equivalente à aplicação de 80 a 108 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de uréia.

### **Literatura Citada**

ACOSTA, J.A. de A.; AMADO, T.J.C.; NEERGAARD, A. de; VINTHER, M.; SILVA, L.S. da; NICOLOSO, R. da S. Effect of <sup>15</sup>N-labeled hairy vetch and nitrogen fertilization on maize nutrition and yield under no-tillage. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, p.1337-1345, 2011.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. *Fertilidade do solo*. Viçosa, MG, SBCS, 2007. p.375-470.

CARVALHO, A.M. de; BUSTAMANTE, M.M.C.; GERALDO JUNIOR, J.; VIVALDI, L.J. Decomposição de resíduos vegetais em latossolo sob cultivo de milho e plantas de cobertura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.2831-2838, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPS, 2006. 306p.

HARRIS, G.H.; HESTERMAN, O.B. Quantifying the nitrogen contribution from alfafa to soil and two succeeding crops using nitrogen-15. *Agronomy Journal*, v.82, p.129-134, 1990.

SCIVITTARO, W.B.; MURAOKA, T.; BOARETTO, A.E.; TRIVELIN, P.C.O. Transformações do nitrogênio proveniente de mucuna-preta e uréia utilizados como adubo na cultura do milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.38, p.1427-1433, 2003.

SILVA, E.C. da; MURAOKA, T.; BUZZETTI, S.; VELOSO, M.E. da C.; TRIVELIN, P.C.O. Aproveitamento do nitrogênio (<sup>15</sup>N) da crotalária e do milheto pelo milho sob plantio direto em Latossolo Vermelho de Cerrado. *Ciência Rural*, v.36, p.739-746, 2006.

SILVA, E.C. da; MURAOKA, T.; BUZZETTI, S.; ARF, O.; SÁ, M.E. Plantas de cobertura e adubação nitrogenada na cultura do arroz. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15., 2010, Teresina. Anais... SBCS, 2010. 1 CD-ROM.

VARVEL, G.E.; SCHPERS, J.S.; FRANCIS, D.D. Ability for in-season correction of nitrogen deficiency in corn using chlorophyll meters. *Soil Science Society of America Journal*, v.61, p.1233-1239, 1997.

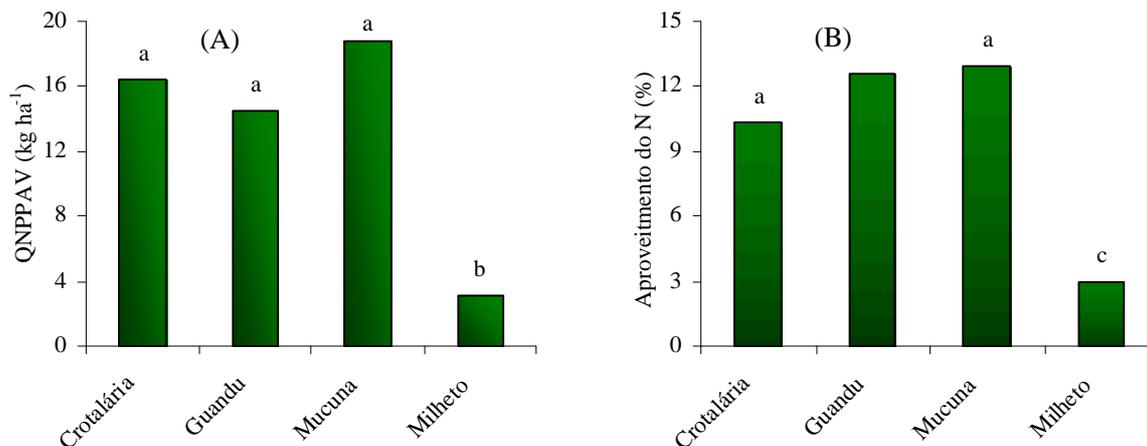
**Tabela 1.** Produtividade de matéria seca (MS), teor de N total e de carbono, concentração de <sup>15</sup>N, relação C/N e teores de lignina e fenóis totais da parte aérea da crotalária-júncea, do milheto, do guandu, da mucuna-verde e da vegetação espontânea (pousio), cultivados antes do cultivo do milho (inverno/primavera), Selvíria, MS, 2010.

Espécies	MS	N	C	Conc. de <sup>15</sup> N	Relação C/N	Lignina	Fenóis Totais*
	t ha <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>		% de átomos		g kg <sup>-1</sup>	
Crotalária	8,42 b	18,7 b	405	1,846	21,7 b	113,8 b	18,14 ab
Guandu	5,62 c	20,5 b	450	1,425	22,0 b	141,1 ab	16,51 ab
Mucuna	5,87 c	24,7 a	414	1,981	16,8 b	180,7 a	18,48 ab
Milheto	13,65 a	7,8 c	421	2,251	54,0 a	68,2 c	13,61 b
Pousio	2,95 d	14,2 b	424		29,9 b	93,7 bc	20,50 a

Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (p≤ 0,05), \*Valores expressos em equivalente grama de ácido tânico / kg de matéria seca.

**Tabela 2.** Quantidade de N acumulado pelo milho (palha e grãos), porcentagem (%NPPAV), quantidade (QNPPAV) e aproveitamento do N dos adubos verdes, em função de doses de N, Selvíria, MS, safra 2010/2011.

Espécies	N Acumulado		%NPPAV		QNPPAV		Aproveitamento do N		
	Palha	Grãos	Palha	Grãos	Palha	Grãos	Palha	Grãos	Total
	kg ha <sup>-1</sup>		%		kg ha <sup>-1</sup>		%		
Crotalária	41,89	103,30	8,65	12,32	3,62	12,73	2,30	8,06	10,36
Guandu	65,91	99,35	7,80	9,43	5,14	9,37	4,45	8,11	12,56
Mucuna	56,03	108,02	8,55	12,96	4,79	14,00	3,31	9,66	12,97
Milheto	31,05	67,30	2,82	3,37	0,88	2,27	0,82	2,12	2,94
Média	48,72	94,49	6,96	9,52	3,61	9,59	2,72	6,99	9,71

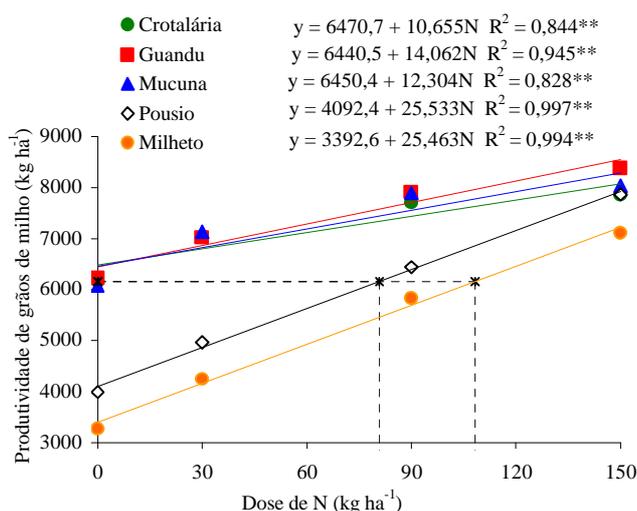


**Figura 1.** Quantidade de nitrogênio no milho (palha+grãos) (QNPPAV) (A) e aproveitamento do N dos adubos verdes pelo milho (B), Selvíria, MS, safra 2010/2011. Médias seguidas por letras distintas minúsculas sobre as colunas diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

**Tabela 3.** Produtividade de grãos de milho em função do uso de plantas de cobertura do solo e doses de N, aplicadas na semeadura (S) e em cobertura (C), Selvíria, MS, safra 2010/2011.

Dose de N ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	Crotalária-júncea	Guandu	Mucuna-verde	Milheto	Pousio
	$\text{kg ha}^{-1}$				
30S	6.164 a	6.230 a	6.069 a	3.267 b	3.985 b
30S+30C	7.034 a	7.020 a	7.132 a	4.243 b	4.967 b
30S+60C	7.709 a	7.917 a	7.885 a	5.827 b	6.443 b
30S+90C	7.853 ab	8.391 a	8.037 ab	7.112 b	7.869 ab

Médias seguidas por letras distintas, minúscula na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).



**Figura 2.** Produtividade de grãos de milho em função do uso de plantas de cobertura do solo e doses de N, Selvíria, MS, safra 2010/2011. \*\* Modelo significativo pelo teste F ( $p \leq 0,01$ ).