

## **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.

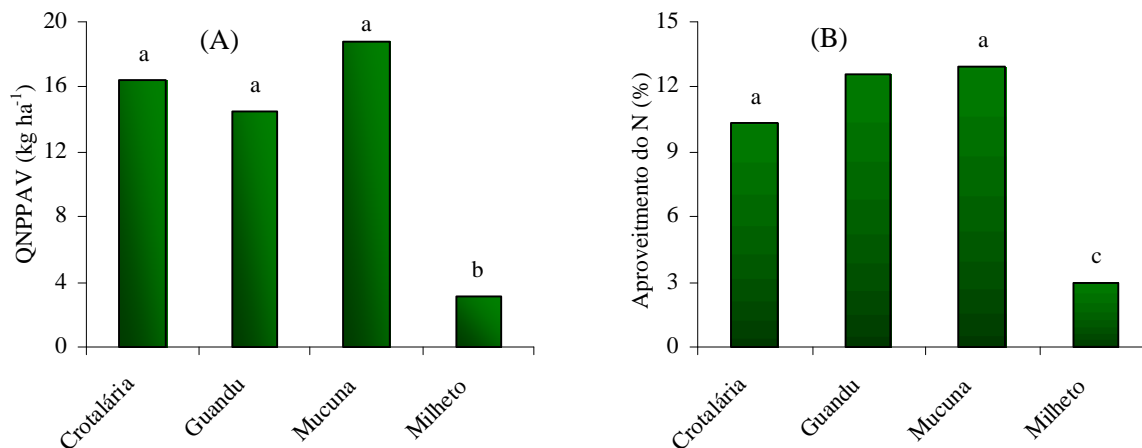
**Tabela 1.** Produtividade de matéria seca (MS), teor de N total e de carbono, concentração de <sup>15</sup>N, relação C/N e teores de lignina e fenóis totais da parte aérea da crotalária-júncea, do milheto, do guandu, da mucuna-verde e da vegetação espontânea (pousio), cultivados antes do cultivo do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

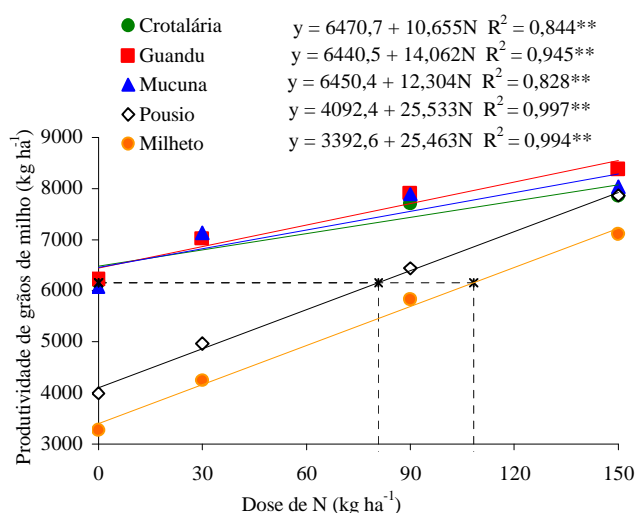


**Figura 1.** Quantidade de nitrogênio no milho (palha+grãos) (QNPPAV) (A) e aproveitamento do N dos adubos verdes pelo milho (B), Selvíria, MS, safra 2010/2011. Médias seguidas por letras distintas minúsculas sobre as colunas diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

**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 ( $p \leq 0,01$ ).