



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbccs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Brasil

Andrioli, Itamar; Beutler, Amauri Nelson; Centurion, José Frederico; Andrioli, Fabricia Flavia; Mendes Coutinho, Edson Luiz

Produção de milho em plantio direto com adubação nitrogenada e cobertura do solo na pré-safra

Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 32, núm. 4, agosto, 2008, pp. 1691-1698

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180214233033>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

SEÇÃO VI - MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA

PRODUÇÃO DE MILHO EM PLANTIO DIRETO COM ADUBAÇÃO NITROGENADA E COBERTURA DO SOLO NA PRÉ-SAFRA⁽¹⁾

**Itamar Andrioli⁽²⁾, Amauri Nelson Beutler⁽³⁾, José Frederico Centurion⁽²⁾,
Fabricia Flavia Andrioli⁽⁴⁾ & Edson Luiz Mendes Coutinho⁽⁵⁾**

RESUMO

A utilização de plantas de cobertura de solo em pré-safra é uma alternativa para fornecer nitrogênio (N) ao milho e viabilizar o sistema plantio direto nas Regiões Sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste, com inverno seco. Este estudo teve o objetivo de avaliar o efeito de doses de N e de espécies de plantas de cobertura, cultivadas em pré-safra, no fornecimento de N e na produtividade de milho em plantio direto. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com parcelas subdivididas e quatro repetições. O estudo foi desenvolvido de 2000 a 2003. Os tratamentos principais foram constituídos de quatro sistemas de uso e manejo: milho em plantio direto após crotalária (PDcrot); milho em plantio direto após braquiária no primeiro ano e lablab nos dois últimos (PDlab); milho em plantio direto após milheto (PDmil); milho em plantio convencional após pousio (PC); e os secundários de três doses de N em cobertura para o milho (0, 60 e 120 kg ha⁻¹). Foram avaliados, no milho, massa da matéria seca da parte aérea, produtividade de grãos, N acumulado e eficiência de utilização do N. A maior eficiência de utilização do N pelas plantas de milho ocorreu nos sistemas de plantio direto e crotalária em pré-safra e plantio convencional após pousio, que não diferiu entre os dois sistemas e foram superiores à dos sistemas de plantio direto em que foram utilizados lablab e milheto em pré-safra, que também não diferiram entre si. A máxima produtividade de grãos de milho foi de 7.259; 7.234; 6.723 e 6.461 kg ha⁻¹, nas doses de N de 97,1; 120,0; 87,8 e 96,1 kg ha⁻¹ nos sistemas plantio direto e crotalária, plantio convencional, plantio direto e lablab, e plantio direto e milheto em pré-safra, respectivamente (média dos três anos). No cultivo de milho em sistema de plantio direto a utilização de crotalária proporcionou maior produtividade em relação ao milheto e lablab em pré-safra.

Termos de indexação: nitrogênio, adubo verde, sistema de cultivo, *Zea mays*.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em julho de 2007 e aprovado em maio de 2008.

⁽²⁾ Professor Adjunto do Departamento de Solos e Adubos, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista – FCAV/UNESP. CEP 14884-900 Jaboticabal (SP). E-mail: Itamar@fcav.unesp.br, jfcenur@fcav.unesp.br

⁽³⁾ Professor Adjunto da Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA. Câmpus de Itaqui, Rua Luiz Joaquim de Sá Brito s/n, CEP 97650-000 Itaqui (RS). E-mail: amaurib@yahoo.com.br

⁽⁴⁾ Graduanda em Agronomia, Departamento de Solos e Adubos, FCAV/UNESP. E-mail: webmaster@fcav.unesp.br

⁽⁵⁾ Professor Titular do Departamento de Solos e Adubos, FCAV/UNESP. E-mail: coutinho@fcav.unesp.br

SUMMARY: CORN IN NO-TILL SYSTEM WITH NITROGEN FERTILIZATION AND SOIL COVER CROPS PRECEDING

The use of cover crops preceding corn is an alternative to supply nitrogen (N) and to make no-till system viable regions with dry winter such as in the Southeast, Center-West, North, and Northeast of Brazil. The purpose of this study was to evaluate N levels and the effect of cover plants on N supply and corn yield in no-till system. The study was carried out from 2000 to 2003. The experimental design was randomized blocks, with split-split plots and four replicates. The main plot treatments were four use and management systems: corn in no-till after Crotalaria juncea, corn in no-till after Brachiaria brizantha in the first year and Dolechus lablab in the two last ones (PDlab), corn in no-till after Pennisetum americanum (PDmil) and corn in conventional system after winter fallow (PC) and the subplot treatments were three side-dressed N levels (0, 60 and 120 kg ha⁻¹). Corn aboveground dry mass, yield, accumulated N and N use efficiency were evaluated. N use efficiency by corn was higher in PDcrot and PC in comparison to PDlab and PDmil, which showed a similar response. The maximum corn yield was 7,259; 7,234; 6,723 and 6,461 kg ha⁻¹, with N levels of 97.1, 120.0, 87.8 and 96.1 kg ha⁻¹ in PDcrot, PC, PDlab and PDmil, respectively. Grain yield in no-tillage-corn after Crotalaria cover crop was higher than that following millet and lablab.

Index terms: nitrogen, cover crops, green manures; management system, Zea mays.

INTRODUÇÃO

No âmbito agropecuário, o sistema plantio direto tem sido uma das melhores alternativas para a manutenção da sustentabilidade dos recursos naturais na utilização dos solos (Oliveira et al., 2002). Por apresentar benefício ambiental amplo, é possível que esse sistema seja a contribuição mais importante que a agricultura está oferecendo em termos de preservação ambiental e que se traduz em menor poluição das águas (Wiethoter et al., 1998).

Independentemente da localização geográfica, algumas condições como a rotação de culturas, produção de fitomassa e cobertura do solo são fundamentais para a implantação, manutenção e viabilização do sistema plantio direto.

Contrariamente ao Sul e à semelhança do Centro-Oeste do país, as regiões norte e nordeste do estado de São Paulo apresentam inverno seco e relativamente quente. Isto compromete os cultivos de outono (safrinhas), com relação à produção de fitomassa, sendo a causa principal do desestímulo e insucesso dos agricultores na adoção do sistema plantio direto para culturas anuais. A produção de fitomassa é imprescindível para o sistema, pois protege o solo da erosão, contribui para melhoria da fertilidade, aumenta a infiltração e disponibilidade de água para as plantas, minimizando os impactos ao ambiente.

A utilização de plantas de cobertura de solo em pré-safra é uma alternativa para a produção de fitomassa, viabilizando o plantio direto. As plantas de cobertura são aquelas espécies (leguminosas, gramíneas, crucíferas, espontâneas e outras) utilizadas com o objetivo de produzir fitomassa, cujos

resíduos são mantidos na superfície do solo para a formação de cobertura morta, essencial ao plantio direto em regiões tropicais.

A maioria das plantas de cobertura leguminosas de primavera/verão é eficiente para a produção de biomassa e acúmulo de N, que pode resultar em economia de N para a cultura subsequente e benefícios ao ambiente (Beutler et al., 1997). Entretanto, o período de melhor desenvolvimento dessas plantas coincide com o ciclo das culturas comerciais, dificultando seu uso.

Plantas de cobertura, especialmente leguminosas, semeadas nas primeiras chuvas (setembro), em pré-safra, são mais eficientes no fornecimento de N às plantas em sucessão, quando comparadas àquelas semeadas no outono. Conforme Stute & Posner (1995) e Aita et al. (2001), para que o aproveitamento do N das plantas de cobertura seja maximizado pela cultura em sucessão, é fundamental que a mineralização de N dos resíduos culturais ocorra com a maior sincronia possível em relação à demanda de N da cultura seguinte.

No Estado de São Paulo, nas primeiras chuvas (setembro a outubro), os agricultores geralmente não se arriscam a iniciar seus cultivos. Em geral, muitos utilizam-se dessas chuvas e parte desse tempo para o preparo do solo no sistema convencional. Assim, pode-se utilizar esse período para a produção de fitomassa e acúmulo de N, inclusive com a vantagem de incluir plantas de cobertura de verão adaptadas a essa época.

O N é o nutriente requerido em maior quantidade pelo milho. Em épocas em que as condições climáticas são favoráveis à cultura, a quantidade de N requerida para otimizar a produtividade de grãos pode alcançar valor superior a 150 kg ha⁻¹ (Amado et al., 2002). Essa

quantidade elevada dificilmente é suprida pelo solo, havendo necessidade de usar fontes suplementares do nutriente. Para tal, é necessária a utilização isolada ou combinada de adubos minerais, orgânicos e leguminosas. Além disso, é importante que a quantidade de N aplicada seja a mais exata possível, minimizando tanto o excesso, que prejudica a qualidade ambiental e onera a produção, quanto o deficit, que compromete o rendimento pretendido (Amado et al., 2002).

A magnitude de substituição da adubação nitrogenada mineral do milho pelas leguminosas de cobertura depende de diversos fatores, dentre os quais podem-se destacar a quantidade de N acumulado pelas leguminosas, a velocidade com que o nutriente é liberado dos resíduos culturais, a disponibilidade de N do solo e o nível tecnológico empregado na cultura (Aita et al., 2001). Vários são os fatores que afetam a dinâmica de decomposição das plantas de cobertura, mineralização do N e seu fornecimento e aproveitamento pelas culturas subsequentes: relação C/N, umidade do solo, tempo de dessecação das plantas de cobertura e manejo do solo (Wilson & Hargrove, 1986; Wagger, 1989). Estima-se que a disponibilidade de N de leguminosas, durante a primeira sucessão de culturas, varia de 10 a 34 %, entretanto esta disponibilidade é menor do que para os fertilizantes minerais, cuja eficiência em fornecer N está entre 40 e 70 % (Stanford, 1973), embora as perdas possam ser maiores em eventos pluviais intensos. Ceretta et al. (2002) verificaram que a aplicação de N mineral em pré-semeadura de milho foi semelhante à aplicação na semeadura e em cobertura. Porém, em época com alta precipitação pluvial, como no caso de "El Niño", caracterizado por maior precipitação pluvial no Estado do Rio Grande do Sul, houve menor disponibilidade de N na fase de enchimento de grãos e menor produtividade de grãos quando o N foi aplicado em pré-semeadura.

Na região mais quente do sudoeste dos EUA, vários autores observaram que os adubos verdes se decompõem rapidamente (perda de 50 % da biomassa em um mês), podendo ser uma significante fonte de N para o milho cultivado em sucessão (Stute & Posner, 1995). No sul do Brasil, Aita et al. (2001) encontraram um mês após o manejo das leguminosas, liberação de aproximadamente 70 % do N da fitomassa.

No sul do país, Teixeira et al. (1994), avaliando os efeitos de dez sistemas de culturas e duas doses de adubação nitrogenada, verificaram que os sistemas que incluíram plantas leguminosas determinaram os maiores efeitos sobre a adição de N ao solo, suprindo N ao milho e proporcionando maior rendimento. Observaram, ainda, que a variação nos sistemas de culturas em relação ao rendimento de milho deve-se, principalmente, ao efeito desses no suprimento de N. Da Ros & Aita (1996) verificaram que, na ausência de adubação com N mineral, os incrementos de rendimento de grãos de milho proporcionados pelo uso de ervilhaca-

comum, chícharo, tremoço-azul e ervilhaca-forragem, em relação ao pousio invernal, foram de 1.277, 1.146, 919 e 575 kg ha⁻¹, respectivamente.

Este estudo teve o objetivo de avaliar doses de N e o desempenho de plantas de cobertura, cultivadas em pré-safra, no fornecimento de N e na produtividade de milho em plantio direto.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado de 2000 a 2003, em Jaboticabal, SP (21° 15' 22" S e 48° 18' 28" W; 595 m de altitude). O clima é do tipo Cwa, subtropical úmido, segundo a classificação de Köppen, com temperaturas moderadas (média de 22,4 °C), inverno com estiagem, verão quente e chuvoso e precipitação média anual de 1.285 mm.

Utilizou-se um Latossolo Vermelho distrófico, típico, textura argilosa, cujas características físicas e químicas, na instalação (2000), na camada de 0–20 cm e nas camadas de 0–10 e 10–20 cm, determinadas em fevereiro de 2003, são apresentadas no quadro 1.

O delineamento experimental foi de blocos em acaso, com parcelas subdivididas, com quatro repetições. Os tratamentos principais foram constituídos de quatro sistemas de uso e manejo com inclusão de plantas de cobertura (Quadro 2), e os secundários de três doses de N em cobertura (0, 60 e 120 kg ha⁻¹). A área da parcela foi de 800 m² (80 x 10 m) e a da subparcela de 200 m² (20 x 10 m).

Em outubro de 1994, o solo foi preparado com arado de aivecas até 25 cm de profundidade e, em seguida, foi aplicado calcário dolomítico para elevar a saturação por bases a 70 e foi semeada soja. Em setembro de 1995, realizou-se uma escarificação até 25 cm de profundidade e foram implantados os sistemas de uso e manejo descritos no quadro 2.

A partir de 2000, na primeira quinzena de setembro, foram semeadas em pré-safra as seguintes plantas de cobertura: Crotalaria (*Crotalaria juncea*) - PDCrot; Braquiária (*Brachiaria brizantha*) e Lablab (*Dolechus lablab*) - PDlab; Milheto (*Pennisetum americanum* sin. *Tiphoides*) - PDmil, no espaçamento entre linhas de 45 cm e densidade de sementes de 50, 30, 40 e 30 kg ha⁻¹, respectivamente. O manejo das plantas de cobertura foi realizado com o uso do dessecante glifosato, na dose de 3,0 L ha⁻¹, antes da semeadura do milho.

O milho híbrido Agromem 3150 foi semeado anualmente entre 15 e 20 de dezembro, no espaçamento de 0,90 m entre linhas e 50.000 plantas ha⁻¹. A adubação, segundo recomendação de Raij et al. (1996), foi de 400 kg ha⁻¹ da fórmula 4–20–20 (N – P₂O₅ – K₂O) na semeadura e 0, 60 e 120 kg ha⁻¹ de N em cobertura, como nitrato de amônio (34 % N) quando as plantas estavam com oito folhas. O controle de plantas daninhas foi realizado quimicamente.

Quadro 1. Caracterização física e química do solo na camada de 0–20 cm em junho de 2000 e dos sistemas de uso e manejo, nas camadas de 0–10 e 10–20 cm, em fevereiro de 2003

Atributo	0–20 cm	0–10 cm				10–20 cm			
		PDcrot	PDlab	PDmil	PC	PDcrot	PDlab	PDmil	PC
Argila (g kg ⁻¹)	360	333	333	333	333	387	387	387	387
Silte (g kg ⁻¹)	65	80	80	80	80	50	50	50	50
Areia (g kg ⁻¹)	575	587	587	587	587	563	563	563	563
Macroporos (m ³ m ⁻³)	--	11	11	12	8	11	11	10	7
Microporos (m ³ m ⁻³)	--	35	33	33	35	30	30	32	33
Ds (kg d m ⁻³)	1,47	1,42	1,45	1,42	1,46	1,54	1,53	1,53	1,59
MO (g dm ⁻³)	20	21	20	21	18	16	15	16	16
pH (CaCl ₂)	5,4	4,7	4,6	4,6	4,5	4,5	4,5	4,4	4,6
P resina (mg dm ⁻³)	19	32	29	33	32	43	44	50	48
K (mmol _c dm ⁻³)	1,9	1,7	1,5	2,0	1,5	1,2	1,3	1,5	1,7
Ca (mmol _c dm ⁻³)	27	20	17	17	16	18	16	15	17
Mg (mmol _c dm ⁻³)	11	8	7	8	7	6	5	5	7
V (%)	60	46	41	43	38	40	39	36	42

Ds: densidade do solo; MO: matéria orgânica; --: não determinado.

Quadro 2. Sistemas de uso e manejo durante o período de 1995 a 2000 e de 2000 a 2003

Ano	Plantio direto			Plantio convencional ⁽¹⁾	
	PDcrot	PDlab	PDmil	PC	
Pré - Safrinha 95	<i>Crotalaria juncea</i>	Pousio	Milheto	Pousio	
Safrinha 96	Guandu	Milho	Milho Verde Pousio	Pousio	
Safrinha 97	<i>Crotalaria juncea</i>	Milheto	Milheto	Pousio	
Safrinha 98	<i>Crotalaria juncea</i>	Pousio	Milheto	Pousio	
Safrinha 99	Milho	Guandú	Soja Sorgo	Pousio	
Safrinha 2000	Nabo Forrageiro	Nabo Forrageiro	Milheto	Pousio	
Pré - safra 00	<i>Crotalaria juncea</i>	Braquiária	Milheto	Pousio	
Pré - safra 01	<i>Crotalaria juncea</i>	Lablab	Milheto	Pousio	
Pré - safra 02	<i>Crotalaria juncea</i>	Lablab	Milheto Milho	Pousio	

⁽¹⁾ Plantio convencional: preparo realizado com uma gradagem aradora e duas gradagens niveladoras, antes da semeadura. Pré-safra: semeadura realizada em setembro e manejo em meados de dezembro. Safrinha: semeadura realizada em março.

Após a maturação fisiológica do milho, foram coletadas cinco plantas por parcela para a determinação da massa da matéria seca e do N acumulado na parte aérea. Na colheita, foi avaliada a produtividade de grãos em área útil de 22,5 m², corrigindo-se os valores para 13 % de umidade. O N total foi determinado conforme a metodologia descrita em Bataglia et al. (1983).

A eficiência de utilização do N pelas plantas de milho (EU) foi estimada conforme metodologia de Siddiqi & Glass (1981), a seguir:

$$EU = (\text{produção de matéria seca da parte aérea})^2 / (\text{conteúdo de N matéria seca da parte aérea})$$

A produção de matéria seca (kg) da parte aérea e o conteúdo de N (mg) da matéria seca corresponde a toda massa seca da parte aérea, incluindo os grãos.

Foi estimada a equivalência em nitrogênio (EN) dos sistemas PDcrot e PC, comparados com os PDlab e PDmil, com base nas curvas de respostas de rendimento do milho no PDlab e PDmil, ou seja, quanto de N deve ser aplicado nos sistemas PDlab e

PDmil para se obter a mesma produtividade de milho nos sistemas PDcrot e PC, sem adubação com N.

A análise estatística consistiu da análise de variância e regressão polinomial entre as doses de N e os componentes de desenvolvimento do milho.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os sistemas de uso e manejo PDcrot e PC não diferiram entre si e apresentaram valores superiores de massa de matéria seca, de N na parte aérea e produtividade de grãos de milho, comparado aos sistemas PDlab e PDmil, que também não diferiram entre si ($p < 0,05$; Figura 1). Estes resultados são parcialmente confirmados por vários autores (Shear & Moschler, 1969; Bayer, 1992; Amado et al., 2000), que têm encontrado maior acúmulo de N na biomassa do milho em sistema convencional, comparado com o plantio direto. O menor acúmulo de N na biomassa do milho no sistema de plantio direto ocorre em função

da menor disponibilidade de N no solo, por várias causas: maior perda por lixiviação, desnitrificação, maior imobilização pelos microorganismos, menor mineralização do N orgânico do solo e dos resíduos ou, ainda, uma associação desses fatores (Amado, 1997). Porém, se corretamente manejado, o plantio direto permite a obtenção de produtividade semelhante à do cultivo convencional. A menor produtividade no sistema PDmil e PDlab possivelmente está relacionada com o menor acúmulo de N, que foi 72,2 e 54,5 %, respectivamente, comparado ao PDcrot. Associada a isso, a relação C/N do milheto é superior à crotalaria, resultando em menor velocidade de decomposição dos restos culturais do milheto e mineralização do N, diminuindo a disponibilidade de N nos estádios iniciais de desenvolvimento do milho, segundo estudos de Torres et al. (2005).

Em relação ao N acumulado nos grãos de milho, apenas o PC apresentou valores maiores de N (65,0 kg ha⁻¹), para a dose de N 120 kg ha⁻¹ em cobertura, e somente em relação ao PDmil (55,0 kg ha⁻¹).

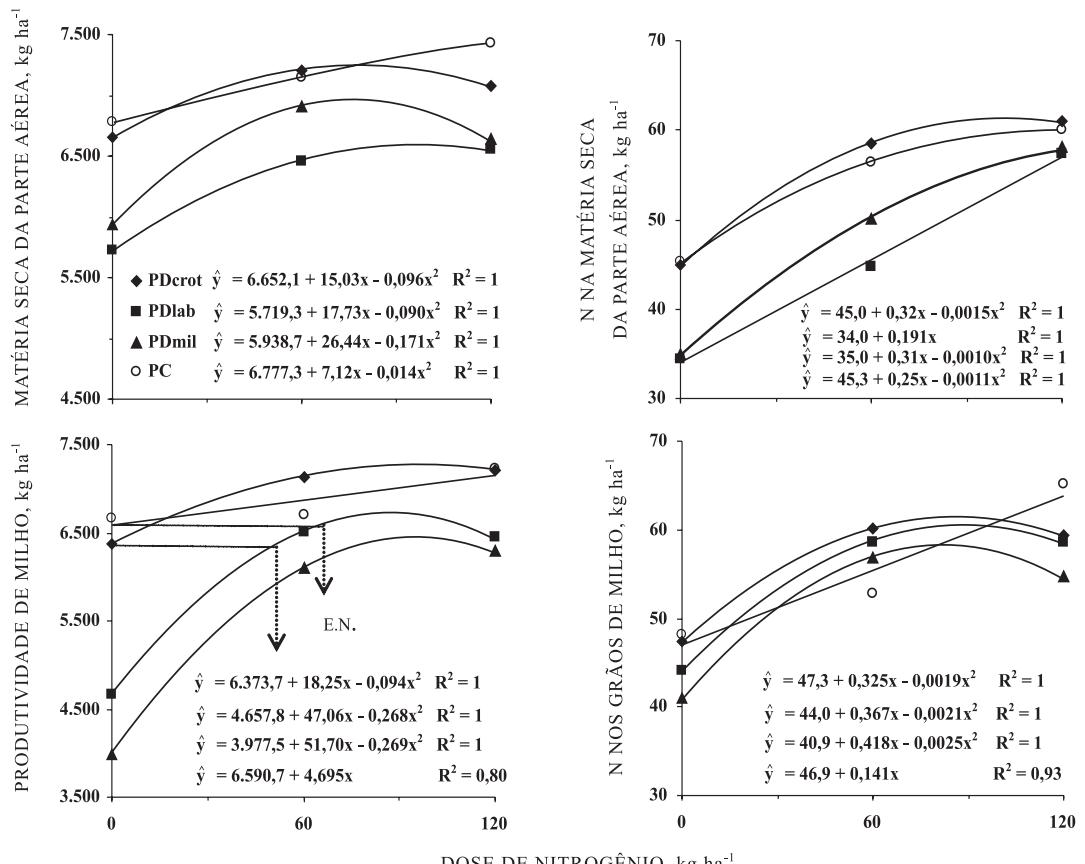


Figura 1. Matéria seca, produtividade de milho, e nitrogênio acumulado na parte aérea e nos grãos de milho com a utilização de diferentes doses de nitrogênio e sistemas de uso e manejo do solo com inclusão de plantas de cobertura. EN: equivalência em nitrogênio.

Na ausência de adubação nitrogenada, no PDcrot a produtividade de grãos foi 1.716 kg ha⁻¹ (38 %) e 2.396 kg ha⁻¹ (60 %) maior que nos sistemas PDlab e PDMil, respectivamente, e o PC produziu 2.013 kg ha⁻¹ (43 %) e 2.693 kg ha⁻¹ (68 %) a mais do que os respectivos sistemas. No entanto, essas diferenças decresceram drasticamente quando foram aplicadas as doses de 60 e 120 kg ha⁻¹ de N em cobertura, porém, ainda foram superiores às dos sistemas PDlab e PDMil. Isso possivelmente está relacionado à maior eficiência de utilização do N nos sistemas PDcrot e PC, comparado com o PDlab e PDMil, na ausência de N (Quadro 3). Na literatura, vários estudos verificaram decréscimo na produtividade de grãos de milho, quando a cultura é implantada imediatamente sobre resíduos de plantas de cobertura, principalmente gramíneas (Pavinato et al., 1994; Ruedell, 1995; Argenta et al., 1999). Da Ros & Aita (1996) atribuíram isso ao fato de que a adição de quantidades elevadas de resíduos culturais, com alta relação C/N, faz com que os microorganismos, para utilizarem o C na sua composição e também como fonte de energia, imobilizem o N da palha e, inclusive, parte de N mineralizado do solo, diminuindo a sua disponibilidade para a cultura. Além disso, alguns autores atribuíram o decréscimo no rendimento de grãos de milho ao efeito alelopático (Hernani et al., 1995).

O sistema PC apresentou melhor desempenho na produção de grãos em relação aos sistemas PDlab e PDMil, apesar da ligeira diminuição da macroporosidade e do aumento da Ds do solo, comparado aos demais sistemas (Quadro 2), porém permanecendo na faixa de valores toleráveis para esse tipo de solo, segundo verificado por Beutler et al. (2006), com soja. Além disso, a distribuição regular das chuvas durante o período de desenvolvimento da cultura, nos anos avaliados, contribuiu para mitigar os efeitos prejudiciais da compactação, não refletindo em decréscimo de produtividade no PD. Ainda, a maior produção no PC possivelmente ocorreu devido à maior velocidade de liberação de nutrientes presentes nos resíduos, quando comparado com o plantio direto. Isto aconteceu por causa do efeito dos sistemas de preparo com grade

(aradora e niveladora) na incorporação e no fracionamento físico dos resíduos, permitindo maior contato solo-resíduo e incremento da aeração. Esses fatores combinados favorecem a atividade biológica e a decomposição dos restos culturais (Amado, 1997; Amado et al., 2000). Além disso, segundo Cantarella (1993), metade do N acumulado pelo milho é proveniente do solo. Tais fatos explicam o bom desempenho do sistema PC quanto à produção de grãos do milho, principalmente em relação aos sistemas PDlab e PDMil.

Por outro lado, no sistema PDcrot, a crotalária adicionou maior quantidade de N ao solo, em relação ao milheto (72,2 %) e lablab (54,5 %). Porém, o sistema PDlab proporcionou produtividade de milho semelhante à de PDMil e ambos inferior à de PDcrot. Isto possivelmente deve-se ao fato de ter sido utilizada braquiária no primeiro ano, ao invés de lablab, e à pequena quantidade de matéria seca produzida pelo lablab nos dois últimos anos, que resultou em menor quantidade de N acumulado na parte aérea e menor aporte de N ao solo, comparativamente ao PDcrot (Quadro 4). Essa é uma das possíveis explicações para a menor produtividade de grãos de milho no PDlab, comparado com o sistema PDcrot, que produziu quase o dobro de matéria seca e acumulou quase o dobro de N. Bertin et al. (2005), nas mesmas condições experimentais, também verificaram maior produtividade de milho após crotalária e menor após milheto, as quais não diferiam do lablab.

As curvas de resposta às doses de N variaram em função dos sistemas de uso e manejo e da variável analisada. No sistema PC, a produtividade aumentou até a maior dose a de 120 kg ha⁻¹ de N em cobertura. Entretanto, no PC e no PDcrot, a partir da dose de N de 60 kg ha⁻¹, a resposta a N é baixa e possivelmente não viável economicamente.

As doses de N em que ocorreu a máxima ou maior produtividade de milho foram: 97,1; 120,0; 87,8; e 96,1 kg ha⁻¹ e a máxima ou maior produtividade foi de 7.259; 7.234; 6.723; e 6.461 kg ha⁻¹, nos sistemas PDcrot, PC, PDlab e PDMil, respectivamente.

Quadro 3. Produtividade máxima de matéria seca e de grãos de milho, quantidade de nitrogênio que proporcionou máxima produtividade e eficiência de utilização do nitrogênio (EU), média de três anos

Matéria seca	Quantidade de N _{MS}	Grãos de milho	Quantidade de N _G	EU			
				Dose de N (kg ha ⁻¹)	0	60	120
kg ha ⁻¹							
PDcrot	7.240	78,3	7.259	97,1	1,61	1,52	1,49
PDlab	6.593	98,5	6.724	87,8	1,22	1,43	1,28
PDMil	6.961	77,3	6.462	96,1	1,16	1,39	1,31
PC	7.426	120,0*	7.234	120,0*	1,70	1,55	1,51

(*) No tratamento plantio convencional, houve aumento de produtividade até a maior dose de N de 120 kg ha⁻¹.

Quadro 4. Produção de matéria seca e conteúdo de nitrogênio na parte aérea pelas plantas de cobertura nos sistemas de uso e manejo, durante os três anos

	Matéria seca da parte aérea				Conteúdo de N			
	2000	2001	2002	Total	2000	2001	2002	Total
kg ha ⁻¹								
PDCrot	2.864	6.818	9.226	19.159	63,2	192,1	218,1	473,4
PDlab	1.220	3.697	5.640	10.558	22,0	96,4	139,7	258,1
PDmil	5.464	7.201	7.758	20.423	109,6	114,3	118,2	342,0

Essas determinações não foram realizadas no PC.

A equivalência em nitrogênio (E.N.) dos sistemas PDCrot e PC, obtida com base na curva de resposta de produtividade de grãos no sistema PDlab, foi de 52 e 66 kg ha⁻¹, respectivamente. Esses valores de E.N. estão próximos aos encontrados para a ervilhaca, comparado com o da aveia-preta (55 kg ha⁻¹), por Amado et al. (2000), e esses valores estão dentro da faixa de 45 a 90 kg ha⁻¹ encontrado por Pons et al. (1984). Por outro lado, foi encontrada a E.N. de 106 kg ha⁻¹ por Da Ros & Aita (1996) para as mesmas culturas. No entanto, quando se consideram os sistemas PDCrot e PC, comparado com o PDmil, verificou-se E.N. de 78 kg ha⁻¹ no PDCrot; no PC a produtividade foi maior, comparada com a produtividade máxima obtida no PDmil. Isso está relacionado à alta produção de matéria seca do milheto, que possui alta relação C/N, imobilizando parte do N disponível à cultura subsequente, o milho.

A E.N. indica que o cultivo de milho após milheto exige a aplicação de N e em doses maiores comparado com os sistemas em que se utilizam plantas que acumulam mais N e com menor relação C:N na parte aérea, conforme também sugerido por Amado et al. (2002). Além disso, esses resultados demonstram a importância da rotação de culturas e da utilização de plantas de cobertura com inclusão de leguminosas visando o fornecimento de N. Entretanto, é possível que melhor manejo da adubação com N, em relação à aplicação parcelada do N nas fases mais críticas, seja suficiente para suprir esse déficit de N no PDmil e PDlab e para promover produtividade de acordo com o potencial da cultura. Por outro lado, houve um efeito benéfico das plantas de cobertura em relação à qualidade física do solo, avaliada pela densidade e porosidade do solo, além da proteção do solo contra a erosão, que viabilizam o sistema plantio direto.

CONCLUSÕES

1. Doses de N de 60 e 120 kg ha⁻¹ em cobertura e sistemas de uso e manejo com inclusão de plantas de cobertura do solo aumentam a produtividade de matéria seca e de grãos de milho.

2. No cultivo de milho em sistema de plantio direto, a utilização de crotalária proporcionou maior produtividade em relação ao milheto e lablab, em pré-safra associada a adição de N mineral.

LITERATURA CITADA

- AITA, C.; BASSO, C.J.; CERETTA, C.A.; GONÇALVES, C.N. & DA ROS, C.O. Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. R. Bras. Ci. Solo, 25:157-165, 2001.
- AMADO, T.J.C. Disponibilidade de nitrogênio para o milho em sistemas de cultura e preparo do solo. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997. 201p. (Tese de Doutorado)
- AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J. & AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema de plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 26:241-248, 2002.
- AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J. & FERNANDES, S.B.V. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. R. Bras. Ci. Solo, 24:179-189, 2000.
- ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.; RIZZARDI, M.A.; BARUFFI, M.A. & LOPES, M.C.B. Manejo do nitrogênio no milho em semeadura direta em sucessão a espécies de cobertura de solo no inverno e em dois locais. II – Efeito sobre o rendimento de grãos. Ci. Rural, 29:587-593, 1999.
- BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F. & GALLO, J.R. Métodos de análise química de plantas. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1983. 49p. (Boletim Técnico, 78)
- BAYER, C. Características químicas do solo, nutrição e rendimento de milho afetados por métodos de preparo e sistemas de culturas. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1992. 183p. (Tese de Mestrado)
- BERTIN, E.G.; ANDRIOLI, I. & CENTURION, J.F. Plantas de cobertura em pré-safra ao milho em plantio direto. Acta Sci. 27:379-386, 2005

- BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; CENTURION, M.A.P.C. & SILVA, A.P. Efeito da compactação na produtividade de cultivares de soja em Latossolo Vermelho. *R. Bras. Ci. Solo*, 30:787-794, 2006.
- BEUTLER, A.N.; ELTZ, F.L.F.; BRUM, A.C.R. & LOVATO, T. Fornecimento de nitrogênio por plantas de cobertura de inverno e de verão para o milho em sistema de plantio direto. *Ci. Rural*, 27:555-560, 1997.
- CANTARELLA, H. Calagem e adubação do milho. In: BULL, L.T. & CANTARELLA, H. Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba, Potafo, 1993. p.147-198.
- CERETTA, C.A.; BASSO, C.J.; DIEKOW, J.; AITA, C.; PAVINATO, P.S.; VIEIRA, F.C.B. & VENDRUSCULO, E.R.O. Nitrogen fertilizer split-application for corn in no-till succession to black oats. *Sci. Agric.*, 59:549-554, 2002.
- DA ROS, C.O. & AITA, C. Efeito de espécies de inverno na cobertura do solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 20:135-140, 1996.
- HERNANI, L.C.; ENDRES, V.C.; PITOL, C. & SALTON, J.C. Adubos verdes de outono/inverno no Mato Grosso do Sul. Dourados, Embrapa-CPAO, 1995. 93p. (Documento, 4).
- OLIVEIRA, F.H.T.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; CANTARUTTI, R.B. & BARROS, N.F. Fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: SCHAEFER, C.E.G.R.; MELLO, J.W.V.; COSTA, L.M.; BARROS, N.F. & ALVAREZ V., V.H., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v.2. p.394-371.
- PAVINATO, A.; AITA, C.; CERETTA, C.A. & BEVILÁQUA, G.P. Resíduos culturais de espécies de inverno e o rendimento de grãos de milho no sistema cultivo mínimo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 29:1427-1432, 1994.
- PONS, A.L.; NUSS, C.N. & PINTO, R.J.B. Efeito de doses de nitrogênio sobre o rendimento do milho, em cultivo mínimo e convencional após o cultivo da viça. In: REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO MILHO, 29., Porto Alegre, 1984. Anais. Porto Alegre, IPAGRO/EMATER-RS, 1984. p.97-98.
- RAIJ, B.van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.H. & FURLANI, A.M.C. Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo. 2.ed. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas & Fundação IAC, 1996. 285p. (Boletim Técnico, 100).
- RUEDELL, J. Plantio direto na região de Cruz Alta. Cruz Alta, FUNDACEP, BASF, FECOTRIGO, 1995. 134p.
- SHEAR, G.M. & MOSCHLE, W.W. Continuous corn by the no tillage and conventional tillage methods: A six-year comparison. *Agron. J.*, 61:67-72, 1969.
- SIDDIGI, M.Y. & GLASS, A.D.M. Utilization index: A modified approach to the estimation and comparation of nutrient utilization efficiency in plants. *J. Plant. Nutr.*, 4:289-302, 1981.
- STANFORD, G. Rationale for optimum nitrogen fertilization in corn production. *J. Environ. Qual.*, 2:159-166, 1973.
- STUTE, J.K. & POSNER, J.L. Synchrony between legume nitrogen release and corn demand in the Upper Midwest. *Agron. J.*, 87:1063-1069, 1995.
- TEIXEIRA, L.A.J.; TESTA, V.M. & MIELNICZUK, J. Nitrogênio do solo, nutrição e rendimento do milho afetados por sistemas de culturas. *R. Bras. Ci. Solo*, 18:207-214, 1994.
- TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G.; ANDRIOLI, I.; POLIDORO, J.L. & FABIAN, A.J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de Cerrado. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:609-618, 2005.
- WAGGER, M.G. & DENTON, H.P. Influence of cover crop and wheel traffic on soil physical properties in continuous no-till corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53:1206-1210, 1989.
- WIETHOLTER, S.; BEM, J.R.; KOCHHANN, R.A. & POTTKER, D. Fósforo e potássio no solo no sistema plantio direto. In: NUERNBERG, N.J., ed. Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto. Lages, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1998. p.121-149.
- WILSON, D.O. & HARGROVE, W.L. Release of nitrogen from crimson clover residue under two tillage system. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50:1251-1254, 1986.