

Estamos subestimando o nitrogênio suprido pelo solo na rotação soja-milho em integração lavoura-pecuária no Cerrado?

Álvaro V. de Resende¹, Sandro M. C. Hurtado², Edemar J. Corazza³ e Takashi Muraoka⁴

¹Embrapa Milho e Sorgo, Cx. Postal 285, CEP 35.701-970, Sete Lagoas, MG. alvaro@cnpmc.embrapa.br; ²Bolsista DTI, sandroelbat@yahoo.com.br; ³Embrapa Informação Tecnológica, edemar@sct.embrapa.br; ⁴CENA/USP, tmuraoka@cena.usp.br.

Palavras-chave: crédito de N, ciclagem de nutrientes, palhada, matéria orgânica, ILP.

Introdução

A construção da fertilidade do solo é um pré-requisito para o sistema de plantio direto (LOPES et al., 2004), cuja implementação constitui uma meta para qualquer agricultor que busque elevada produtividade de grãos. O mínimo revolvimento do solo, a alternância de culturas e o maior acúmulo de palhada, que caracterizam as áreas sob plantio direto, promovem a manutenção ou aumento nos teores de matéria orgânica e modificam a dinâmica de nutrientes comparativamente ao sistema de preparo convencional.

Ao longo das últimas décadas, nos sistemas de produção com uso intensivo de tecnologia, as adubações contínuas para construção da fertilidade do solo e reposição dos nutrientes exportados nas colheitas originaram uma condição de alta fertilidade em lavouras do Cerrado. O fato é que a conservação da matéria orgânica nos solos manejados em plantio direto e o aporte periódico de nutrientes pelas adubações têm resultado em aumento da reserva de nutrientes desses solos. Em muitos talhões, a disponibilidade atual de nutrientes no solo provavelmente permitiria reduzir a adubação de manutenção por uma ou mais safras. Não obstante, tentativas vêm sendo feitas no sentido de se aumentar a produtividade do milho por meio de incrementos na quantidade de nitrogênio (N) na adubação de cobertura. Muitas vezes o agricultor não avalia os ganhos de produtividade decorrentes dessa adubação mais pesada, sendo frequentes os casos que resultam em desperdício de fertilizante e concomitantes aumentos do custo de produção e do risco ambiental.

Sabe-se que, de modo geral, a capacidade de suprimento de nitrogênio pelo solo é diretamente proporcional à presença de matéria orgânica (CANTARELLA, 2007). Além disso, o uso de leguminosas como a soja em sistemas de sucessão ou rotação também favorece maior aporte de N pela mineralização da palhada (MASCARENHAS et al., 2002). A integração lavoura-pecuária acrescentou um novo fator condicionante da disponibilidade e ciclagem de nutrientes em sistemas de produção de grãos: as pastagens de gramíneas, com forte inserção das braquiárias, que sabidamente são rústicas e apresentam elevada capacidade de aproveitamento de nutrientes. Tem-se evidências de que espécies de *Brachiaria* estão envolvidas em processos de fixação biológica de nitrogênio (REIS JÚNIOR et al., 2002) e podem liberar exsudatos radiculares contendo compostos inibidores da nitrificação (SUBBARAO et al., 2009).

Indicações de adubação nitrogenada para o milho de acordo com classes de probabilidade de resposta, definidas pelo teor de matéria orgânica na análise de solo e histórico de culturas, vêm



sendo adotadas nas recomendações oficiais de estados como São Paulo (RAIJ; CANTARELLA, 1996) e Rio Grande do Sul/Santa Catarina (COMISSÃO..., 1995; AMADO et al., 2002). No Cerrado, trabalhos avaliando a resposta do milho a nitrogênio em sistema de plantio direto (SILVA et al., 2006; LANGE et al., 2008) têm evidenciado situações em que doses moderadas do nutriente são suficientes para obtenção de elevada produtividade. Sobretudo quando envolve soja ou outra leguminosa em rotação, o plantio direto parece propiciar maior estoque e eficiência de ciclagem de N no sistema, o que permitiria trabalhar com menores doses de fertilizantes nitrogenados.

Este trabalho objetivou evidenciar que pode-se estar subestimando o potencial de suprimento de nitrogênio pelo solo (matéria orgânica + palhadas) em sistemas de produção de milho no Cerrado, envolvendo a rotação com soja em plantio direto com presença de braquiária.

Material e Métodos

O trabalho foi conduzido numa área de sequeiro, na Fazenda Alto Alegre (Planaltina de Goiás, GO). O talhão vem sendo acompanhado em estudos de agricultura de precisão desde 2003. Utiliza-se a rotação soja-milho, sem preparo do solo desde 2001. Eventualmente semeia-se *Brachiaria decumbens* e *B. ruziziensis*, de modo que a área apresenta ocorrência expressiva desta e de outras gramíneas, as quais servem ao pastejo nos períodos entre as safras de grãos, caracterizando uma opção de integração lavoura-pecuária. Dados de histórico são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Histórico de cultivo, produtividade de grãos e matéria orgânica no solo (MOS) na camada 0-20cm de profundidade da lavoura estudada.

Safr	Cultura	Produtividade		MOS (g kg ⁻¹)
		(t ha ⁻¹)	(sc ha ⁻¹)	
2003/2004	soja	3,04	50,6	-
2004/2005	milho	8,72	145,3	24
2005/2006	soja	3,41	56,8	23
2006/2007	milho	8,36	139,3	24
2007/2008	soja	3,23	53,8	-
2008/2009	milho	8,76	146,0	-

Experimentos de resposta do milho ao nitrogênio (N) foram instalados nas safras 2006/2007 e 2008/2009. Por ocasião da primeira safra, o Latossolo Vermelho-Amarelo da área (camada de 0-0,2 m) apresentou valores dos atributos argila (g kg⁻¹); matéria orgânica (g dm⁻³); pH_{água}; P_{Mehlich} (mg dm⁻³); K, Ca, Mg, Al, CTC (cmolc dm⁻³); e V(%) correspondentes a 540; 9; 5,7; 9; 0,5; 1,5; 0,5; 0,1; 6,9; e 37, respectivamente. Precedendo a semeadura, foi aplicada 1 t ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT=90%) em superfície em uma parte da lavoura. Foi semeado o híbrido simples Pioneer 30F90 em 16/11/2006, adubado com 350 kg ha⁻¹ de NPK 06-23-18 (21 kg ha⁻¹ de N).



Na safra de 2008/2009, numa parte da lavoura adjacente ao primeiro experimento, que não havia recebido calagem, foi aplicada 1 t ha^{-1} de calcário dolomítico (PRNT=90%) na superfície, em faixa, permanecendo ainda uma outra faixa sem calagem. Foi semeado o híbrido simples Pioneer 30K73 em 19/11/2008, adubado com 350 kg ha^{-1} de NPK 08-24-12 (28 kg ha^{-1} de N).

Os experimentos nas duas safras consistiram de doses de N em cobertura em locais com e sem calagem superficial. As parcelas foram formadas por 5 linhas de 6 m de comprimento, espaçadas 0,7 m, com 5 plantas por metro linear. Utilizou-se delineamento experimental em blocos casualizados com três repetições. Para as verificações do presente trabalho, foram selecionados os tratamentos sem adubação de cobertura (dose 0 de N) e com a adubação praticada pela fazenda (90 e 80 kg ha^{-1} de N em 2006/2007 e 2008/2009, respectivamente).

Nas colheitas foi quantificada a produção de grãos (13% de umidade). A extração de N foi estimada considerando uma demanda de 20 kg de N por tonelada de grãos produzida (SOUSA; LOBATO, 2002; FANCELLI; TSUMANUMA, 2007). Em 2006/2007, os grãos foram analisados de acordo com Malavolta et al. (1997), para cálculo da exportação de N. Em 2008/2009 a exportação foi estimada considerando o teor médio de N nos grãos obtido no primeiro experimento ($12,8 \text{ g kg}^{-1}$). A eficiência do fertilizante foi calculada dividindo-se a produtividade (kg ha^{-1}) pela quantidade de N-fertilizante (kg ha^{-1}) aplicada aos tratamentos (MOLL et al., 1982).

De posse de dados de MOS e de produtividade das safras anteriores (Tabela 1), foram estimados os créditos de N associados à MOS e à mineralização das palhadas dos três últimos cultivos, conforme os critérios de Sousa e Lobato (2002):

- 1) Suprimento N-MOS = 30 kg ha^{-1} de N para cada 1% de MOS;
- 2) Suprimento N-palhadas = $[(0,11 \times N^{\circ} \text{ de sacas ha}^{-1} \text{ de soja colhida três safras atrás}) + (0,1 \times N^{\circ} \text{ de sacas ha}^{-1} \text{ de milho colhido duas safras atrás}) + (0,45 \times N^{\circ} \text{ de sacas ha}^{-1} \text{ de soja colhida na última safra})]$.

A partir das produtividades obtidas nos experimentos, calculou-se qual teria sido a demanda de N-fertilizante associada à resposta produtiva do milho em cada tratamento, de acordo com os critérios sugeridos por Sousa e Lobato (2002). Para tanto, foi utilizada a seguinte fórmula: $N_f = [(N_y - N_s) \times E_f]$, em que: N_f é a quantidade de N-fertilizante; N_y , o N acumulado na matéria seca da parte aérea para a produtividade obtida ($20 \text{ kg de N por tonelada de grãos}$); N_s , o N suprido pelo solo (N-MOS + N-palhadas); e E_f , o fator de eficiência no uso do N-fertilizante pelas plantas. Utilizaram-se índices de eficiência do fertilizante nitrogenado de 75% ou 63%, correspondendo a fatores E_f de 1,33 ou 1,59. O primeiro caso aplica-se a áreas bem manejadas, com sistema radicular profundo (SOUSA; LOBATO, 2002), enquanto o segundo refere-se à eficiência média de recuperação do N-fertilizante pela cultura do milho (CANTARELLA, 2007).

Com os dados gerados, procurou-se estabelecer um balanço entre aportes e demandas de N nos tratamentos selecionados.

Resultados e Discussão

As produtividades obtidas sem adubação de cobertura foram elevadas (Tabela 2), demonstrando que, no sistema de produção estudado, o potencial de suprimento de N pelo solo é



muito expressivo, acima do que seria normalmente esperado na região do Cerrado. A rotação soja-milho, o sistema de plantio direto e a presença de braquiária nas entressafras podem ser apontados como os principais fatores responsáveis pelo elevado potencial de fornecimento de nitrogênio desse solo à cultura do milho.

O cultivo de soja incorpora ao sistema grande quantidade de N fixado biologicamente (MASCARENHAS et al., 2002). Adicionalmente, os teores de N nos grãos de milho e a exportação calculada (Tabela 2), ficaram abaixo dos valores normalmente relatados na literatura (FANCELLI; TSUMANUMA, 2007), indicando que boa parte do nutriente extraído pelo milho retorna ao solo na palhada. É sabido, por sua vez, que o plantio direto favorece a conservação da matéria orgânica e sua ciclagem, liberando os nutrientes no processo de mineralização, que ocorre de forma mais intensa no período da safra devido às condições favoráveis de umidade e temperatura (CANTARELLA, 2007) nesta época na região. Atualmente, tem-se também evidências de que gramíneas do gênero *Brachiaria* estão envolvidas em processos de fixação biológica de nitrogênio (REIS JÚNIOR et al., 2002) e podem liberar exsudatos radiculares contendo compostos inibidores da nitrificação (SUBBARAO et al., 2009). Em conjunto, todos esses fatores condicionam um ambiente com maior capacidade de estocagem e conservação do nitrogênio no solo, propiciando um sistema de produção mais tamponado.

Tabela 2 – Produtividade de grãos, teor de nitrogênio (N) nos grãos, extração estimada de N e exportação calculada de N pelo milho, em função de adubação nitrogenada e calagem superficial, em duas safras.

Safra	Calagem a lanço (1 t ha ⁻¹)	Adubação N		Produtividade grãos (t ha ⁻¹)	Teor N grão (g kg ⁻¹)	Extração estimada N (kg ha ⁻¹)	Exportação N (kg ha ⁻¹)
		semeadura	cobertura				
2006/07	-	21	0	9,3	11,7	186	109
	-	21	90	10,1	13,4	202	135
	+	21	0	9,4	12,3	188	116
	+	21	90	11,1	13,6	222	151
2008/09	-	28	0	7,5	-	150	96
	-	28	80	8,2	-	164	105
	+	28	0	8,4	-	168	108
	+	28	80	9,3	-	186	119

A aplicação superficial de uma tonelada de calcário resultou em ganhos de produtividade e potencializou a resposta do milho à cobertura nitrogenada. Tais efeitos podem ser atribuídos à amenização das condições de acidez do solo, visto que a área apresentava saturação por bases de 37% antes do primeiro experimento, abaixo, portanto, do valor ideal para as condições de lavouras no Cerrado (V=50%). Estímulos à atividade microbiana, ao processo de mineralização da matéria orgânica e ao desenvolvimento radicular do milho são esperados com a calagem, o



que explicaria as maiores produtividades e o melhor aproveitamento do nitrogênio fornecido em cobertura.

Considerando que o milho extrai cerca de 20 kg de N por tonelada de grãos produzida (SOUSA; LOBATO, 2002; FANCELLI; TSUMANUMA, 2007), o balanço entre a extração do nutriente nas produtividades observadas e o aporte total de N, representado pelo N-fertilizante (75% de eficiência) mais o N suprido pelo solo (N-MOS e N-palhadas), evidenciou um aparente déficit de fornecimento, sobretudo nos tratamentos que não receberam adubação de cobertura, nas duas safras (Tabela 3). Esse déficit superou 50 kg ha⁻¹ de N nos tratamentos sem cobertura, na safra 2006/2007, quando foram obtidas maiores produtividades em relação à safra 2008/2009. Isso significa que o solo (MOS+palhada) acabou fornecendo mais nitrogênio do que o estimado de acordo com o teor de matéria orgânica e as palhadas oriundas das três últimas colheitas no talhão.

Em decorrência dessa situação, na ausência da adubação de cobertura, a eficiência do fertilizante nitrogenado, ou seja, a quantidade de grãos produzida por cada kg de N fornecido na adubação foi muito superior àquelas calculadas nos tratamentos que receberam a cobertura (Tabela 3).

Tabela 3 – Créditos de nitrogênio do fertilizante (N-fert.), da matéria orgânica do solo (N-MOS) e das palhadas dos três últimos cultivos (N-palhada), aporte total estimado, extração estimada, balanço de N no sistema (aporte total – extração) e eficiência do fertilizante (kg de grãos/kg N aplicado) para o milho em função de adubação nitrogenada e calagem superficial, em duas safras.

Safra	Calagem a lanço (1 t ha ⁻¹)	N-fert. (kg ha ⁻¹)	N-MOS (kg ha ⁻¹)	N-palhada (kg ha ⁻¹)	Aporte total N (kg ha ⁻¹)	Extração N (kg ha ⁻¹)	Balanço N (kg ha ⁻¹)	Eficiência N fertil. (kg kg ⁻¹)
2006/07	-	16	72	45,7	133,5	186	-53	443
	-	83	72	45,7	201,0	202	-1	91
	+	16	72	45,7	133,5	188	-55	448
	+	83	72	45,7	201,0	222	-21	100
2008/09	-	21	72	44,4	137,4	150	-13	268
	-	81	72	44,4	197,4	164	33	76
	+	21	72	44,4	137,4	168	-31	300
	+	81	72	44,4	197,4	186	11	86

Outro raciocínio que permite destacar a grande contribuição do solo no fornecimento de N à cultura do milho consiste em confrontar a adubação realizada com a adubação que seria recomendada para se obter a produtividade referente a cada tratamento (Tabela 4). Mesmo levando em conta os créditos de N calculados com base na MOS e nas palhadas das últimas três safras (SOUSA; LOBATO, 2002), as quantidades de N-fertilizante deveriam ter sido maiores que as realmente aplicadas. Para uma eficiência do fertilizante de 75%, as quantidades indicadas



variariam de 45 a 139 kg ha⁻¹ de N. Utilizando-se maior rigor, com uma eficiência do fertilizante de 63%, as quantidades indicadas seriam de 53 a 166 kg ha⁻¹ de N, conforme o tratamento/safra. No entanto, as adubações reais variaram de 21 a 111 kg ha⁻¹ de N. Essas diferenças reforçam as informações de outros trabalhos em sistema de plantio direto no Cerrado (SILVA et al., 2006; LANGE et al., 2008), em que doses moderadas do nutriente foram suficientes para obtenção de elevada produtividade de milho.

Tabela 4 – Produtividade de grãos de milho em função de adubação nitrogenada e calagem superficial, adubações que seriam indicadas para obtenção de tais produtividades, considerando eficiência do fertilizante de 75% e 63%, e balanço de nitrogênio (adubação indicada – adubação realizada).

Safra	Calagem a lanço (1 t ha ⁻¹)	Adubação realizada (kg ha ⁻¹)	Produtividade grãos (t ha ⁻¹)	Adubação indicada (75% efic.) (kg ha ⁻¹)	Adubação indicada (63% efic.) (kg ha ⁻¹)	Balanço N (75% efic.) (kg ha ⁻¹)	Balanço N (63% efic.) (kg ha ⁻¹)
2006-07	-	21	9,3	91	109	70	88
	-	111	10,1	112	134	1	23
	+	21	9,4	94	112	73	91
	+	111	11,1	139	166	28	55
2008-09	-	28	7,5	45	53	17	25
	-	108	8,2	63	76	-45	-32
	+	28	8,4	69	82	41	54
	+	108	9,3	93	111	-15	3

Ante tais constatações é razoável afirmar que os créditos de nitrogênio para o milho podem estar sendo subestimados em sistemas semelhantes ao do presente estudo, envolvendo a rotação soja-milho, com presença de braquiária, em plantio direto no Cerrado. A realização de trabalhos que venham a quantificar a contribuição dos diferentes componentes para o estoque de N e agregar conhecimento sobre a dinâmica de ciclagem do nutriente é necessária para a confirmação de critérios e o aprimoramento das recomendações de adubação nitrogenada na região.

Referências

AMADO, T. J. C.; MIELNICZUCK, 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 plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 26, p. 241-248, 2002.



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. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. p. 375-470.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO. **Recomendações de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 3. ed. Passo Fundo: Núcleo Regional Sul, 1995. 223 p.

FANCELLI, A. L.; TSUMANUMA, G. M. Nitrogênio e enxofre nas culturas de milho e feijão. In: SIMPÓSIO SOBRE NITROGÊNIO E ENXOFRE NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2006, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: International Plant Nutrition Institute - Brasil, 2007. p. 445-486.

LANGE, A.; LARA CABEZAS, W. A. R.; TRIVELIN, P. C. O. Recuperação do nitrogênio das fontes sulfato e nitrato de amônio pelo milho em sistema semeadura direta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 1, p. 123-130, 2008.

LOPES, A. S.; WIETHOLTER, S.; GUILHERME, L. R. G.; SILVA, C. A. **Sistema plantio direto**: bases para o manejo da fertilidade do solo. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos, 2004. 110 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319 p.

MASCARENHAS, H. A. A.; TANAKA, R. T.; WUTKE, E. B. Cultivo de cereais e cana-de-açúcar após soja: economia de adubo nitrogenado. **O Agrônomo**, Campinas, v. 54, n. 2, p. 19-20, 2002.

MOLL, R. H.; KAMPRATH, E. J.; JACKSON, W. A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. **Agronomy Journal**, Madison, v. 74, n. 3, p. 562-564, 1982.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H. Milho para grãos e silagem. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: IAC, 1996. p. 56-59. (IAC. Boletim Técnico, 100).

REIS JÚNIOR, F. B.; TEIXEIRA, K. R. S.; REIS, V. M. **Fixação biológica de nitrogênio associada a pastagens de braquiária e outras gramíneas forrageiras**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002. 27 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 52).

SILVA, E. C.; MURAOKA, T.; BUZETTI, S.; VELOSO, M. E. C.; TRIVELIN, P. C. O. Absorção de nitrogênio nativo do solo pelo milho sob plantio direto em sucessão a plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 723-732, 2006.



SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado**: correção do solo e adubação. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002. 416 p.

SUBBARAO, G. V.; NAKAHARA, K.; HURTADO, M. P.; ONO, H.; MORETA, D. E.; SALCEDO, A. F.; YOSHIHASHI, A. T.; ISHIKAWA, T.; ISHITANI, M.; OHNISHI-KAMEYAMA, M.; YOSHIDA, M.; RONDON, M.; RAO, I. M.; LASCANO, C. E.; BERRY, W. L.; ITO, O. Evidence for biological nitrification inhibition in *Brachiaria* pastures. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v. 106, n. 41, p. 17302-17307, 2009.

Apoio: FAPEMIG

