

**Balanço de N em
Rotação de Culturas
sob Plantio Direto em
Dourados, MS**



República Federativa do Brasil

Luiz Inácio Lula da Silva
Presidente

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Roberto Rodrigues
Ministro

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Conselho de Administração

Luis Carlos Guedes Pinto
Presidente

Silvio Crestana
Vice-Presidente

Alexandre Kalil Pires

Ernesto Paterniani

Hélio Tollini

Marcelo Barbosa Saintive

Membros

Diretoria Executiva

Silvio Crestana
Diretor Presidente

Tatiana Deane de Abreu Sá

José Geraldo Eugênio de França

Kepler Euclides Filho

Diretores Executivos

Embrapa Agrobiologia

José Ivo Baldani
Chefe Geral

Eduardo Francia Carneiro Campello

Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

Rosângela Stralio
Chefe Adjunto Administrativo



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa em Agrobiologia
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

ISSN 1676-6709

Abril/2005

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 07

**Balanco de N em Rotação de Culturas sob Plantio
Direto em Dourados, MS**

Bruno José Rodrigues Alves
Lincoln Zotarelli
Ednaldo Silva Araújo
Francisco Marques Fernandes
João Carlos Heckler
André Fernandes Alves Medeiros
Robert Michael Boddey
Segundo Urquiaga

Seropédica – RJ

2005

Exemplares desta publicação podem ser adquiridas na:

Embrapa Agrobiologia

BR465 – km 7

Caixa Postal 74505

23851-970 – Seropédica/RJ, Brasil

Telefone: (0xx21) 2682-1500

Fax: (0xx21) 2682-1230

Home page: www.cnpab.embrapa.br

e-mail: sac@cnpab.embrapa.br

Comitê Local de Publicações: Eduardo F. C. Campello (Presidente)
José Guilherme Marinho Guerra
Maria Cristina Prata Neves
Verônica Massena Reis
Robert Michael Boddey
Maria Elizabeth Fernandes Correia
Dorimar dos Santos Felix (Bibliotecária)

Expediente:

Revisores e/ou ad hoc: Maria Cristina Prata Neves e José Antônio Azevedo

Espíndola

Normalização Bibliográfica: Dorimar dos Santos Félix

Editoração eletrônica: Marta Maria Gonçalves Bahia

1ª impressão (2005): 50 exemplares

A474b Alves, Bruno José Rodrigues.

Balanço de N em Rotação de Culturas sob Plantio Direto em Dourados, MS, Lincoln Zotarelli, Ednaldo Silva Araújo, Francisco M. Fernandes, João C. Heckler, André F. A. Medeiros, Robert Michael Boddey, Segundo Urquiaga. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2005. 21 p. (Embrapa Agrobiologia. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 07).

ISSN 1676-6709

1. Plantio direto. 2. Rotação de cultura. 3. Balanço de nitrogênio. 4. Fixação biológica de nitrogênio. I. Zotarelli, L., colab. II. Araújo, E. S., colab. II. Fernandes, F. M., colab. IV. Heckler, J. C., colab. V. Medeiros, A. F. A., colab. VI. Boddey, R. M., colab. VII. Urquiaga, S., colab. VIII. Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia (Seropédica, RJ). IX Título. X. Série.

CDD 631.5814

SUMÁRIO

Resumo	04
Abstract.....	05
Introdução.....	06
Material e Métodos	08
Matéria Seca e N total.....	08
Quantificação da FBN.....	08
Eficiência do uso de N fertilizante.....	09
Balanço de N para as culturas.....	10
Resultados e Discussão.....	10
Quantificação da FBN para a cultura da soja.....	11
Eficiência da fertilização.....	12
Balanço de N para as culturas.....	15
Conclusões.....	17
Agradecimentos.....	18
Referências Bibliográficas.....	18

Balanço de N em Rotação de Culturas sob Plantio Direto em Dourados, MS

Bruno José Rodrigues Alves¹

Lincoln Zotarelli²

Ednaldo Silva Araújo²

Francisco Marques Fernandes³

João Carlos Heckler³

André F. A. Medeiros²

Robert Michael Boddey¹

Segundo Urquiaga¹

Resumo

O objetivo do presente estudo foi avaliar o impacto da fixação biológica de nitrogênio (FBN) na cultura da soja e a eficiência do uso de fertilizantes nitrogenados pelas culturas do milho e algodão sobre o balanço de N do solo. O experimento foi realizado em Latossolo Vermelho distroférrico, na área experimental da Embrapa Agropecuária Oeste, em Dourados, MS. Todas as culturas foram conduzidas em uma área onde se iniciou o plantio direto. No primeiro ano, as culturas do milho e algodão receberam 115 kg N ha⁻¹, parcelados em 25 kg N ha⁻¹ na forma de uréia no plantio, e mais duas doses de cobertura de 45 kg N ha⁻¹, aos 26 e 48 dias após emergência das plantas (dae). No segundo ano a cultura do milho recebeu 70 kg N ha⁻¹ em cobertura, aos 29 dae. Por duas safras consecutivas avaliaram-se a contribuição da FBN para a cultura da soja, através da abundância natural de ¹⁵N, e a eficiência de uso do fertilizante nitrogenado (EUFN) pela cultura do milho, e em uma safra com a do algodão, utilizando-se fertilizante enriquecido com ¹⁵N. As avaliações incluíram também a produtividade e acumulação de N pela parte aérea das culturas. O balanço de N foi calculado como a diferença entre o total de N que entrou no sistema (fertilizantes e FBN) menos a saída de N (produtos colhidos e perdas). A contribuição da FBN para a cultura da soja, nos dois anos sob avaliação foi superior a 80% do N acumulado pelas plantas, o que garantiu elevados níveis de produtividade sem diminuir as reservas de N do solo. Nas condições do estudo, a EUFN para as culturas do milho e algodão foi próxima dos 20% no plantio, e aos 26 e 48 dae variou entre 50 e 60% para a cultura do milho, e em torno de 70% para a do algodão, apesar das doses de N mais elevadas na cobertura. No entanto, para os níveis de produtividade obtidos, as doses aplicadas não foram suficientes para compensar a saída de N, o que sugere a necessidade de que o manejo do sistema seja alterado para diminuir e/ou balançar as perdas de N.

1 Embrapa Agrobiologia, km 7 BR 465, Seropédica, 23.890-000. RJ.

2 Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, km 7 BR 465, Seropédica, 23.890-000, RJ.

3 Embrapa Agropecuária Oeste, km 253,6 BR 163, Dourados, 79804-970. MS

TARRÉ, R.; MACEDO, R.; CANTARUTTI, R. B.; REZENDE, C. D.; PEREIRA, J. M.; FERREIRA, E.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. The effect of the presence of a forage legume on nitrogen and carbon levels in soils under Brachiaria pastures in the Atlantic forest region of the South of Bahia, Brazil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 234, p. 15-26, 2001.

URQUIAGA, S.; ZAPATA, F. **Manejo eficiente de la fertilización nitrogenada de cultivos anuales en America Latina y el Caribe**. Porto Alegre: Genesis; Rio de Janeiro: Embrapa Agrobiologia, 2000. 110 p.

VAN KESSEL, C.; HARTLEY, C. Agricultural management of grain legumes: has it led to an increase in nitrogen fixation? **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 65, p. 165-181, 2000.

VENZKE FILHO, S. de P.; FEIGL, B. J.; PICCOLO, M. C.; FANTE JR., L.; SIQUEIRA NETO, M.; CERRI, C. C. Root systems and soil microbial biomass under no-tillage system. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 61, p. 529-537, 2004.

ZOTARELLI, L. **Balanço de nitrogênio na rotação de culturas em sistemas de plantio direto e convencional na região de Londrina-PR**. 2000. 128 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

ZOTARELLI, L.; TORRES, E.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R. Role of legumes in the N economy of cereal production in crop rotations under conventional and no-tillage. In: **WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 17th**, 2002, Thailand. **Proceedings...** Bangkok: ISSS/ASA, 2002. CD-ROM.

PEOPLES, M. B.; BOYER, E. W.; GOULDING, K. W. T.; HEFFER, P.; OCHWOH, V. A.; VANLAUWE, B.; WOOD, S.; YAGI, K.; VAN CLEEMPUT, O. Pathways of nitrogen loss and their impacts on human health and the environment. In: MOSIER, A. R.; SYERS, J. K.; FRENEY, J. R. (Org.). **Agriculture and the nitrogen cycle: Assessing the impacts of fertilizer use on food production and the environment.** Washington: Island Press, 2004. p. 28-55. (SCOPE 63).

PEOPLES, M. B.; HERRIDGE, D. F. Quantification of biological nitrogen fixation in agricultural systems. In: PEDROSA, F. O.; HUNGRIA, M.; YATES, G.; NENTON, W. E. (Ed.). **Nitrogen fixation: from molecules to crop productivity; proceedings of the 12th International Congress on Nitrogen Fixation, Foz do Iguacu, Paraná, 1999.** Dordrecht: Kluwer, 2000. p. 519-524.

PEOPLES, M. B.; HERRIDGE, D. F.; LADHA, J. K. Biological nitrogen fixation: An efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production? **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 174, p. 3-28, 1995.

RAMOS, M. G.; VILLATORO, M. A. A.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Quantification of the contribution of biological nitrogen fixation to tropical green manure crops and the residual benefit to a subsequent maize crop using ^{15}N -isotope techniques. **Journal of Biotechnology**, Amsterdam, v. 91, p. 105-115, 2001.

RUSSELL, C. A.; FILLERY, I. R. P. In situ ^{15}N labelling of Lupin below-ground biomass. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v. 47, p. 1035-1046, 1996.

SHEARER, G.; KOHL, D. H. N_2 -fixation in field settings: estimations based on natural ^{15}N abundance. **Australian Journal of Plant Physiology**, Victoria, v.13, p. 699-756, 1986.

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P.; KOHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 76, p. 39-58, 2004.

N Balance in Crop Rotations under Zero-Tillage in Dourados, MS

Abstract

The present study aimed to evaluate the impact of biological nitrogen fixation to soybean (BNF) and the nitrogen use efficiency of nitrogenous fertilizers to maize and cotton on the soil N balance. The experiment was carried out on a Oxisol (distrophic Haplorthox) at the experimental area of Embrapa Western Agriculture located in Dourados, MS State, Brazil. All crops were planted in an area under zero-tillage for the first year. In the first year, maize and cotton crops were fertilized with 115 kg N ha^{-1} split in 25 kg N ha^{-1} at seeding as urea, and dressing rates of 45 kg N ha^{-1} at 26 and 48 days after emergence (dae). In the second year, the maize crop received only 70 kg N ha^{-1} as a dressing fertilization at 29 dae. For two consecutive harvests the BNF contribution was evaluated to soybean by the use of natural ^{15}N abundance technique, and the nitrogen fertilizer use efficiency (NFUE) by the maize crop, and in one harvest for cotton, using ^{15}N enriched fertilizer. The evaluations also included yield and N accumulation by the shoot of the crops. The N balance was calculated by the difference of N inputs (fertilizer and BNF) and outputs (harvest products and losses). Fertilizer-N losses estimates took into consideration that 25% of applied N was held in the soil, based on literature data and the evaluations performed in the second year with the maize crop. For two years, the BNF contribution to soybean was over 80% which guaranteed high yields without reduction of soil N reserves. Under the study conditions, the NFUE for maize and cotton was close to 20% for the seeding rate. For the dressing applications at 26 and 48dae NFUE varied between 50 and 60% for maize and around 70% for cotton, despite of the highest N rates at dressing fertilization. However, at the present yields the N rates were not enough for compensating outputs unless the system management being altered to reduce N losses.

Index terms: Biological nitrogen fixation, natural ^{15}N abundance technique, soybean, maize, cotton.

Introdução

A prática de plantio direto ganhou significativo espaço no Sul do País, onde a erosão trazia problemas como o assoreamento de mananciais e a perda da camada fértil do solo, e resultava em uma menor renda líquida do produtor e maior risco da atividade agrícola. Nas demais áreas do País, principalmente nos Cerrados, onde este sistema de plantio ganhou grande adesão dos agricultores, em meados dos anos 90, sendo implementado por significar, entre outros benefícios, uma redução de custos pela diminuição das operações mecânicas do solo.

Resultados obtidos em diferentes regiões do País mostram que o plantio direto pode favorecer o processo de fixação biológica de nitrogênio (FBN) em leguminosas (ALVES et al., 2000), processo chave na agricultura brasileira que tem a soja como uma das principais na safra de verão. No entanto, o alto índice de colheita de N da cultura da soja normalmente equivale a proporção do N na planta derivado da FBN, o que se traduz em um balanço de N para o solo próximo da neutralidade (ZOTARELLI, 2000), embora ainda existam dúvidas quanto a real contribuição das raízes para o resultado final do balanço de N. As metodologias tradicional e isotópica, usando ^{15}N (RUSSELL & FILLERY, 1996), usadas para quantificar o N acumulado nas raízes das leguminosas, além de produzirem resultados muito discrepantes, apresentam pontos fracos, sugerindo valores subestimados (PEOPLES & HERRIDGE, 2000) ou superestimados (ARAÚJO, 2004). Apesar disso, o balanço de N realizado somente com a parte aérea da cultura, associado aos dados de produtividade, permite caracterizar culturas e manejos com grande importância para o enriquecimento do sistema com N através da FBN (PEOPLES et al., 1995; VAN KESSEL & HARTLEY 2000).

O uso de fertilizantes em culturas de grãos e fibras também assume uma função importante na manutenção das reservas de N do solo. Altas produtividades com doses baixas de N normalmente significam que a quantidade de N exportada com a colheita é maior do que a adicionada, o que contribui para empobrecer o solo. Em um estudo com diferentes rotações de culturas, ALVES et al. (2000)

BALASUBRAMANIAN, V.; ALVES, B. J. R.; AULAKH, M.; BEKUNDA, M.; CAI, Z.; DRINKWATER, L.; MUGENDI, D.; VAN KESSEL, C.; OENEMA, O. Crop, environmental and management factors affecting fertilizer nitrogen use efficiency. In: MOSIER, A. R.; SYERS, J. K.; FRENEY, J. R. (Org.). **Agriculture and the nitrogen cycle: Assessing the impacts of fertilizer use on food production and the environment**. Washington: Island Press, 2004. p. 2-25. (SCOPE 63).

BERGERSEN, F. J.; PEOPLES, M. B.; TURNER, G. L. Isotopic discriminations during the accumulation of nitrogen by soybean. **Australian Journal of Plant Physiology**, Rockville, v.15, p. 407-420, 1988.

GREENLAND, D. J. Bringing the green revolution to the shifting cultivator: better seed, fertilizers, zero or minimum tillage, and mixed cropping are necessary. **Science**, Washington, v. 190, n. 4217, p. 841-844, 1975.

JENSEN, E. S.; HAUGGAARD-NIELSEN, H. How can increased use of biological N_2 fixation in agriculture benefit the environment? **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 252, p. 177-186, 2003.

LARA-CABEZAS, W. A. R.; KORNDORFER, G. H.; MOTTA, S. A. Volatilização de nitrogênio da amônia na cultura de milho: I. Efeito da irrigação e substituição parcial da uréia por sulfato de amônio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 481-487, 1997.

MACEDO, R. A. T. **Influência de fatores de manejo sobre a fixação biológica de Nitrogênio na cultura da soja em áreas experimentais e de produção no Noroeste do Paraná**. 2003. 89 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

OKITO, A.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Isotopic fractionation during N_2 fixation by four tropical legumes. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 36, p. 1179-1190, 2004.

Agradecimentos

Os autores agradecem o suporte financeiro recebido pela Embrapa, IAEA/FAO, CAPES e CNPq, além do apoio recebido pelos operários e técnicos da Embrapa Agropecuária Oeste e Embrapa Agrobiologia na condução do experimento, coleta e análises de amostras.

Referências Bibliográficas

ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. The success of soybean in Brazil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 252, p. 1-9, 2003.

ALVES, B. J. R.; SANTOS, J. C. F.; BODDEY, R. M. Métodos de determinação do nitrogênio em solo e planta. In: HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R. S. (Ed.). **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. p. 449-470. (EMBRAPA-CNPAF. Documentos, 46).

ALVES, B. J. R.; ZOTARELLI, L.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. Transformações do nitrogênio em rotações de culturas sob sistema plantio direto. In: WORKSHOP NITROGÊNIO NA SUSTENTABILIDADE DE SISTEMAS INTENSIVOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA, 2000, Dourados, MS. **Anais...** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2000. p. 9-31. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 26; Embrapa Agrobiologia. Documentos, 128).

ALVES, B. J. R.; ZOTARELLI, L.; SISTI, C. P. J.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. Emprego de isótopos estáveis para o estudo do carbono e nitrogênio no sistema solo-planta. In: AQUINO, A. M. de; ASSIS, R. L. de (Coord.). **Conhecimentos e técnicas avançadas para o estudo dos processos da biota no sistema solo-planta**. Brasília: Embrapa SPI, 2005. No Prelo.

ARAÚJO, E. S. **Estimativa da quantidade de N acumulada pelo sistema radicular da soja e sua importância para o balanço de N do solo**. 2004. 72 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

encontraram balanços positivos de N em uma rotação de culturas com leguminosa de inverno, ou quando a produtividade de milho foi baixa o suficiente para que a fertilização superasse a exportação de N nos grãos. Neste estudo, no entanto, considerou-se uma recuperação de 100% do N-fertilizante no sistema solo-planta, o que certamente não é uma situação comum. Existem evidências de que alguns processos que levam a perdas de N ocorrem de forma mais intensa em áreas sob plantio direto, especialmente através da volatilização de amônia (LARA-CABEZAS et al., 1997).

Um sistema agrícola ambientalmente sustentável requer que as reservas de nutrientes e matéria orgânica do solo sejam preservadas ao longo dos anos (GREENLAND et al., 1975). Os conteúdos de C e de N do solo estão diretamente relacionados, variando numa relação entre 12 a 18:1, quando se considera a matéria orgânica estável do solo, ou húmus (TARRÉ et al., 2001; SISTI et al., 2004). Por isso, rotações de culturas em que as perdas de N, juntamente à exportação desse nutriente nos órgãos colhidos, sejam maiores do que as adições através dos fertilizantes e da FBN, promoverão a perda de C do solo, e, conseqüentemente, da matéria orgânica, sendo consideradas “insustentáveis” ao longo do tempo.

Na região dos Cerrados, a soja é a única leguminosa de importância em termos de área plantada, apresentando total dependência da FBN. Outras culturas comumente plantadas em rotação com a soja são o milho e o algodão, especialmente na região de Dourados, MS. Na chamada safrinha, plantam-se principalmente gramíneas, e poucas recebem significativas doses de N fertilizante. Dessa forma, a manutenção dos estoques de N do solo, nessa região, dependem de um sistema simbiótico altamente eficiente para a cultura da soja e do eficiente uso de fertilizantes nitrogenados pelas culturas, especialmente milho e algodão. Assim, o impacto da FBN na cultura da soja e da eficiência do uso do fertilizante nitrogenado pelas culturas do milho e algodão sobre o balanço de N do solo foi o objetivo de avaliação do presente estudo.

Material e Métodos

O estudo foi conduzido na área experimental da Embrapa Agropecuária Oeste, situada na cidade de Dourados, MS, no sul do estado de Mato Grosso do Sul. Nesta região, as chuvas se concentram nos meses de Outubro a Abril, principalmente, no verão. O inverno é mais seco, porém não impede a exploração agrícola sem o auxílio da irrigação. O solo da região é classificado como Latossolo vermelho distroférico.

A área experimental, em seu primeiro ano sob plantio direto, apresentava um delineamento em blocos casualizados com 4 tratamentos e 3 repetições. Os tratamentos correspondiam a diferentes rotações de culturas, tendo a soja como cultura principal. Para este estudo, foram feitas avaliações, no verão, em uma das rotações de culturas, constituída de milho (cv. Agromen), soja (cv. BR 16) e algodão (cv. CD 403). As parcelas principais foram divididas em sub-parcelas para permitir o acompanhamento das rotações dentro de um mesmo ano. Dessa forma, considerou-se para efeito de análise estatística, 3 tratamentos, correspondentes às subparcelas com algodão, milho e soja, em 3 repetições.

Matéria seca e N total

A matéria seca acumulada pelas plantas de soja foi estimada pela amostragem de uma área de 3 m² dentro da parcela. A produção de grãos foi obtida pela colheita da parcela, excluindo-se as áreas utilizadas para amostragens de plantas. A quantidade de N presente nas raízes não foi considerada. O procedimento usado para a estimativa do total de N na planta e nos grãos de milho e capulhos de algodão foram os mesmos. No segundo período, somente foram contabilizados os frutos dessas duas culturas. Após a determinação da matéria seca, amostras dos materiais colhidos foram moídas e analisadas para o conteúdo de N total (ALVES et al., 1994).

Quantificação da FBN

A contribuição da FBN foi quantificada para a cultura da soja, usando-se a técnica de diluição isotópica de ¹⁵N, baseada na abundância natural deste isótopo, tal como proposto por

Tabela 3 – Quantificação do balanço de N para o sistema, calculado pela diferença entre a entrada de N (fertilizante e FBN) e a saída (produtos colhidos e perdas de N). Valores positivos indicam ganho N para o sistema, e negativos, perda.

Cultura	Entrada de N (A)		Saída (B)		Balanço (A)-(B)
	Fertilizante	FBN	Colheita	Perdas ¹	
kg N ha ⁻¹					
Soja					
1º ano	0	193,2	200,9	0	- 7,7
2º ano	0	175,9	165,9	0	+10,0
Milho					
1º ano	115	0	78,1	31,1	+5,8
2º ano	70	0	72,6	21,0	-23,6
Algodão					
1º ano	115	0	114,6	16,1	-15,7

¹ Considerou-se que cerca de 25% do fertilizante nitrogenado pode permanecer no solo, e que são desprezíveis as perdas de N derivado da FBN.

Conclusões

- A contribuição da FBN para a cultura da soja conduzida sob plantio direto permite elevados níveis de produtividade, mantendo um balanço positivo de N para o solo.
- Nas condições do estudo, a eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado é maior para as culturas do milho e algodão quando aplicado entre 26 e 48 dap. No entanto, para os níveis de produtividade obtidos, as doses aplicadas não são suficientes para compensar a saída de N, a menos que o manejo do sistema seja alterado para diminuir as perdas deste nutriente.

não recuperadas pelo método tradicional (RUSSELL & FILLERY, 1996), o N das raízes da soja corresponderiam, em média, a 30% do N acumulado na planta (PEOPLES & HERRIDGE, 2000). Sem entrar na discussão das metodologias, pode-se dizer que no presente estudo, numa ótica conservadora, as plantas de soja teriam acumulado uma quantidade total de N 5% superior a observada, o que implicaria em um balanço de N de +2 kg N ha⁻¹ para o primeiro ano, e de +19 kg N ha⁻¹ para o segundo. Assim, nas condições deste estudo, a FBN na soja seria suficiente para garantir alta produtividade e manter o balanço de N do solo próximo a neutralidade. Além da correção da fertilidade do solo e do uso de inoculantes apropriados, o uso do plantio direto deve ter sido um dos fatores de maior importância para o balanço de N obtido para a cultura da soja (ALVES et al., 2003).

A quantidade de fertilizante aplicado na cultura do milho, associada ao parcelamento da dose, foram de grande relevância para o resultado do balanço de N obtido no primeiro ano de estudo (Tabela 3). A maior dose de N aplicada, de certa forma, colaborou para maior produtividade da cultura, além de permitir compensar o N exportado nos grãos e a quantidade perdida do sistema. Para a cultura do algodão, maiores doses de N seriam necessárias para compensar a exportação de N do sistema, apesar da alta eficiência de uso do fertilizante mostrada pela cultura. No entanto, o aumento das doses de fertilizantes nitrogenados representam maior risco ambiental (PEOPLES et al., 2004), e as aplicações devem ser racionalmente otimizadas. O uso de adubos verdes de inverno pode ser uma alternativa para garantir o balanço positivo de N para o sistema e reduzir a necessidade de fertilizantes nitrogenados para a cultura sucessora (ZOTARELLI et al., 2002).

SHEARER & KOHL (1986). Amostras da parte aérea das plantas de soja foram obtidas no estágio R6, coletando-se ao acaso, aproximadamente, 20 plantas por parcela. Espécies espontâneas, não-leguminosas, foram também coletadas das mesmas parcelas para serem utilizadas como referência da abundância natural de ¹⁵N do N disponível no solo. O material colhido foi secado, moído e analisado para abundância natural de ¹⁵N, tal como descrito em OKITO et al. (2004).

Eficiência do uso de N fertilizante

A avaliação foi feita em microparcels estabelecidas dentro das parcelas de milho e algodão, na safra 2000/2001. As culturas receberam iguais quantidades de N fertilizante, sendo as doses parceladas em 25 kg N ha⁻¹, aplicados no plantio, na forma de uréia, 45 kg N ha⁻¹ aos 26 dae (dias após emergência) e 45 kg N ha⁻¹ aos 48 dae, as duas últimas na forma de sulfato de amônio. Nas microparcels, as plantas receberam as mesmas doses, porém usando-se fertilizantes enriquecidos com 5,0% de átomos de ¹⁵N. O fertilizante enriquecido com ¹⁵N foi aplicado em 1,5 m linear de uma das linhas de plantas (microparcela) de cada cultura. Deve-se destacar que cada microparcela recebeu todas as doses de fertilizante, porém, dependendo da microparcela, apenas uma das doses foi enriquecida com ¹⁵N. Isso permitiu avaliar a eficiência do uso do N em cada época de aplicação, e a integrada para o período de crescimento da cultura, tal como explicado em ALVES et al. (2005). As plantas existentes nas microparcels foram colhidas e divididas em caules + folhas e frutos. O material foi secado em estufa a 65°C, finamente moído e analisado para o enriquecimento de ¹⁵N, tal como descrito em RAMOS et al. (2001).

Na safra 2001/2002, a eficiência de uso de N-fertilizante foi avaliada somente para a cultura do milho. Foram adicionados 70 kg N ha⁻¹, em cobertura, aos 35 dias após o plantio (aproximadamente 30 dias após emergência). Utilizou-se sulfato de amônio como fonte de N. O procedimento adotado para aplicação dos fertilizantes marcados foi o mesmo do ano anterior. Além da análise das amostras de plantas das microparcels, descrita anteriormente, foi retirado um monólito de solo de 30 cm de comprimento e 1 m de largura, estando a linha

de milho localizada ao centro, e 20 cm de profundidade. O material foi pesado, secado e uma subamostra foi moída para análise do conteúdo de N (Alves et al., 1994) e enriquecimento de ^{15}N (RAMOS et al., 2001).

Balanço de N para as culturas

Para o cálculo do balanço de N para a soja, considerou-se o total de N acumulado pela cultura, a percentagem do N acumulado na planta derivado da fixação biológica de N_2 (FBN) e o total de N existente nos grãos colhidos, ou seja, Balanço de N = total de N que entrou no sistema (fertilizantes e FBN) – Saída de N (colheita). Para milho e algodão, considerou-se o total de N adicionado através do fertilizante e o total de N exportado nos grãos e capulhos, respectivamente. O balanço de N para estas culturas foi realizado considerando-se a eficiência de uso do fertilizante nitrogenado.

Resultados e discussão

A produtividade encontrada para as culturas de soja, milho e algodão, em ambas as safras (Tabela 1), estiveram próximas dos números normalmente esperados para a região. Das três culturas estudadas, a da soja foi a que mais acumulou N nos grãos, e conseqüentemente, foi a responsável pela maior exportação do nutriente do sistema (Tabela 1). O total de N acumulado nos grãos de soja e milho corresponderam a, respectivamente, 86 e 68% do total de N acumulado na parte aérea dessas culturas, e os capulhos de algodão, a 87% do N na parte aérea das plantas. No segundo ano, os grãos corresponderam a 83% do N acumulado na parte aérea das plantas de soja.

Os índices de colheita de N encontrados para as culturas são, certamente, superestimados por não ter sido considerado o N presente nas raízes. No caso da cultura da soja, o N presente nas raízes podem significar de 3 a 30% do N acumulado pela planta, dependendo da idade da cultura e do método de quantificação utilizado (ZOTARELLI, 2000; PEOPLES & HERRIDGE, 2000; ARAÚJO, 2004).

das camadas superficiais (VENZKE FILHO et al., 2004). Essa característica levanta a hipótese de que parte do fertilizante não recuperado tenha ficado imobilizado nas raízes de camadas mais profundas, não significando, propriamente, uma perda. PEOPLES et al. (2004) revisaram o assunto em detalhe indicando que, em média, 19 a 38% do fertilizante nitrogenado aplicado a culturas de grãos permanecem no solo após a colheita. Em função desses aspectos, é razoável assumir que nas condições do estudo, pelo menos 25% do fertilizante nitrogenado permaneceu no sistema.

Balanço de N para as culturas

A alta contribuição da FBN para as plantas de soja compensou a quantidade de N exportada nos grãos na ocasião da colheita (Tabela 3). Perdas originadas do N derivado da FBN podem ser consideradas praticamente nulas até a colheita da cultura, porém tendem a aumentar dependendo da qualidade dos resíduos que se decompõem sobre o solo após a colheita (JENSEN & HAUGGAARD-NIELSEN, 2003). No primeiro ano, a grande quantidade de N alocada nos grãos, e exportada com a colheita, resultou em um balanço de N negativo para a cultura, em torno de -8 kg N ha^{-1} . No segundo ano, o balanço de N para a cultura foi positivo e representou uma entrada de N para o sistema de 10 kg ha^{-1} , resultado relacionado a menor produtividade da cultura e a alta contribuição da FBN. Valores mais positivos seriam observados com a inclusão do N acumulado no sistema radicular, embora, por motivos metodológicos, ainda seja incerta a magnitude do incremento. ARAÚJO (2004) mediu a quantidade de N presente nas raízes de plantas de soja durante o crescimento da planta, utilizando o método tradicional de tamisação de um volume conhecido de solo onde se encontra o sistema radicular da cultura. A máxima quantidade de N presente nos tecidos radiculares foi observada aos 84 dias após a emergência das plantas, o que correspondeu a 5% do total de N acumulado pela cultura. Por outro lado, considerando-se um método baseado no uso do isótopo ^{15}N , que permite estimar o total de N acumulado pelo sistema radicular de uma cultura, incluindo-se o N de raízes mortas que se decompõem durante o crescimento da planta, exsudados radiculares e pequenas raízes

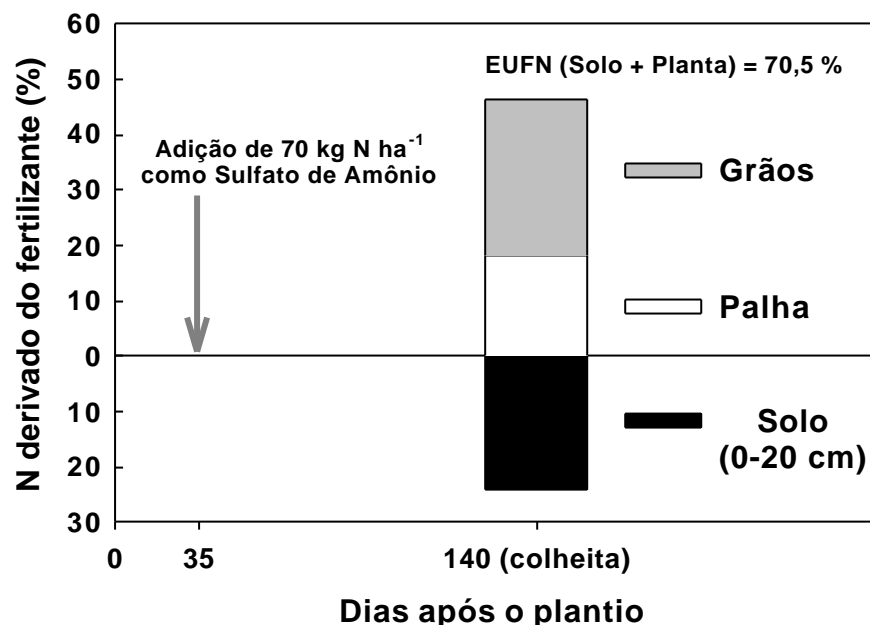


Figura 2 – Percentagem de recuperação do N-fertilizante adicionado em cobertura na cultura do milho na safra 2001/2002, obtida na parte aérea e no solo até a profundidade de 20 cm.

A análise do solo presente na camada de 0-20 cm, no espaço compreendido entre 2 entrelinhas de plantas de milho, permitiu estimar que 24,3% do N adicionado em cobertura ainda se encontravam no solo após a colheita do milho (Figura 2). Dessa forma, contabilizando-se todo o N recuperado, derivado do fertilizante, foi possível estimar que 70,5% do N adicionado em cobertura foi recuperado no sistema solo-planta. Considerando-se esta estimativa, pode-se deduzir que cerca de 21 kg N ha⁻¹ foram perdidos do sistema, seja por volatilização ou por lixiviação para camadas mais profundas. Embora 85% da matéria seca das raízes de milho se encontrem na profundidade de 0-20 cm, as raízes que se distribuem abaixo deste limite são predominantemente raízes finas ($r < 0,12$ cm), com um comprimento radicular semelhante ao

Tabela 1. Produtividade e acumulação de N pelas plantas de soja, milho e algodão, e índice de colheita de N para a planta de soja, nas safras 2000/2001 e 2001/2002.

Culturas	Produtividade kg ha ⁻¹	N-acumulado pela planta kg ha ⁻¹	N exportado nos grãos/fibra kg ha ⁻¹	ICN para a planta ³ %
2000/2001				
Soja	3.553	234,2	200,9	85,8
Milho	6.041	115,6	78,1	68,0
Algodão	2.471 ¹	131,6	114,6 ²	87,0
2001/2002				
Soja	2.935	200,8	165,9	82,6
Milho	5.137	--	72,6	--

¹Produção de fibra; ²Grão e fibra; ³Índice de colheita de N, somente parte aérea.

Quantificação da FBN para a cultura da soja

A contribuição da FBN foi alta para as plantas de soja nas safras 2000/2001 e 2001/2002, variando de 82,5 a 87,6% (Tabela 2). Os resultados obtidos parecem comprovar que a utilização do plantio direto, entre outros benefícios, estimula o processo simbiótico, provavelmente pela menor disponibilidade de N no solo devido à imobilização microbiana (ALVES et al., 2000). Os resultados percentuais de FBN estão dentro da faixa encontrada em 21 propriedades em um levantamento feito por MACEDO (2003) para a cultura da soja no noroeste do Estado do Paraná. Segundo este autor, nos primeiros anos do cultivo da soja sob plantio direto são esperadas altas contribuições da FBN, respeitando-se os procedimentos e recomendações para inoculação da cultura e condicionamento da fertilidade do solo.

Em função do bom desenvolvimento da cultura, as quantidades de N derivado da FBN foram elevadas, variando entre 176 a 193 kg N ha⁻¹ (Tabela 2), porém, como comentado acima, os valores devem

ser ainda maiores uma vez que o N acumulado nas raízes não foi quantificado.

Tabela 2. Percentagem e quantidade de N derivado da FBN para a cultura da soja, nas safras 2000/2001 e 2001/2002.

Culturas	FBN1	FBN
	%	kg ha ⁻¹
2000/2001	82,5 (2,7)	193,2 (9,4)
2001/2002	87,6 (6,4)	175,9 (8,8)

¹Foi utilizado um valor B de -1,3 deltas para a estimativa da FBN BERGERSEN et al., 1988). Os números entre parênteses representam o erro padrão da média.

Eficiência da fertilização

No primeiro estudo, realizado para as culturas do algodão e milho, na safra 2000/2001, a eficiência de uso do fertilizante nitrogenado (EUFN) aumentou em função do desenvolvimento das plantas (Figura 1). Os 25 kg N ha⁻¹, aplicados no plantio praticamente não foram utilizados pelas plantas. De modo contrário, a EUFN aumentou de 18% e 23%, na dose de plantio, para 62 e 71%, na aplicação realizada aos 26 dias após emergência (dae), para milho e algodão, respectivamente. O grande aumento de eficiência ocorreu mesmo sendo a dose de N aos 26 dae (45 kg N ha⁻¹), quase o dobro da dose de plantio. As EUFN obtidas para milho e algodão na dose aplicada aos 48 dae foram, respectivamente, 50% e 72%. O motivo da baixa EUFN observada na dose de plantio pode estar relacionado a processos de perda de N por volatilização de amônia, uma vez que a fonte aplicada foi uréia. Mesmo sendo enterrado, as perdas por este processo podem ser significativas, segundo LARA-CABEZAS (1997).

Considerando os 115 kg N ha⁻¹, aplicados de forma parcelada, encontrou-se uma EUFN de 48% para a cultura do milho, e de 61% para a do algodão (Figure 1). Os valores encontrados para a cultura do milho correspondem a uma faixa média para a cultura, enquanto

que a observada para algodão pode ser considerada elevada (BALASUBRAMANIAN et al., 2004).

Deve-se ressaltar que a eficiência estimada não significa ocorrência de perdas, necessariamente. Parte do fertilizante não utilizado pode se manter no solo e estar disponível para culturas subseqüentes (URQUIAGA & ZAPATA, 2000). Os resultados obtidos no segundo ano, no estudo feito com a cultura do milho, mostraram que a parte aérea, incluindo-se os grãos, continha 42,6% dos 70 kg N ha⁻¹ adicionados em cobertura (Figura 2), correspondendo a uma eficiência muito próxima da encontrada no ano anterior.

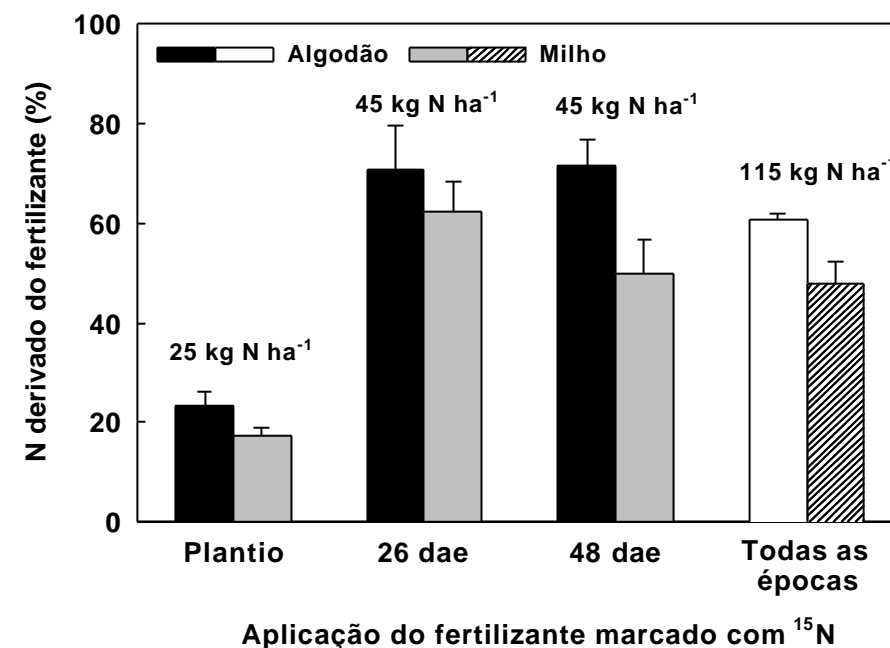


Figura 1 – Percentagem de recuperação do N-fertilizante adicionado em diferentes épocas, e integrado para todo o período, na cultura do milho e algodão na safra 2000/2001.