

**Estoques de Carbono e Nitrogênio do Solo após 17 anos sob Preparo Convencional e Plantio Direto em Dois Sistemas de Rotação de Culturas em Cruz Alta, RS**



**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*  
*Cláudia Assunção dos Santos Viegas*

*Ernesto Paterniani*  
*Hélio Tollini*  
Membros

**Diretoria Executiva**

*Silvio Crestana*  
Diretor Presidente

*José Geraldo Eugênio de França*  
*Kepler Euclides Filho*

*Tatiana Deane de Abreu Sá*  
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

Março/2006

# ***Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 13***

**Estoques de Carbono e Nitrogênio do Solo após  
17 anos sob Preparo Convencional e Plantio  
Direto em Dois Sistemas de Rotação de Culturas  
em Cruz Alta, RS**

Claudia Pozzi Jantalia  
Ciro Petrere  
Celso Aita  
Sandro Giacomini  
Segundo Urquiaga  
Bruno José Rodrigues Alves  
Robert Michael Boddey

*Seropédica – RJ*

2006

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](http://www.cnpab.embrapa.br)

e-mail: [sac@cnpab.embrapa.br](mailto: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 Félix (Bibliotecária)

Expediente:

Revisores e/ou ad hoc: José Guilherme Marinho Guerra e Helvécio De-Polli

Normalização Bibliográfica: Dorimar dos Santos Félix

Editoração eletrônica: Marta Maria Gonçalves Bahia

1ª impressão (2006): 50 exemplares

J54i Jantalia, Claudia Pozzi

Estoques de Carbono e Nitrogênio do Solo após 17 anos sob Preparo Convencional e Plantio Direto em Dois Sistemas de Rotação de Culturas em Cruz Alta, RS / Ciro Petrere, Celso Aita, Sandro Giacomini, Segundo Urquiaga, Bruno José Rodrigues Alves, Robert Michael Boddey. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2006. 42 p. (Embrapa Agrobiologia. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 13).

ISSN 1676-6709

1. Pastagem. 2. Sistema de produção. 3. Latossolo vermelho. I. Petrere, C., colab. II. Aita, C., colab. III. Giacomini, S., colab. IV. Urquiaga, S., colab. V. Alves, B. J. R., colab. VI. Boddey, R. M., colab. VII. Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia (Seropédica, RJ). VIII. Título. I. Série.

CDD 633.202

© Embrapa 2006

WIETHÖLTER, S.; BEN, J. R.; KOCHHANN, R. A.; PÖTTKER, D. Fósforo e Potássio no solo no sistema plantio direto. In: NUERNBERG, N. J. (Ed.). **Plantio direto**: conceitos, fundamentos e práticas culturais. Lages: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Nucleo Regional Sul, 1997. p. 121-147.

ZOTARELLI, L. **Balanco de nitrogênio numa rotação em sistema de plantio direto e convencional na Região de Londrina-PR**. 2000. 133 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

## SUMÁRIO

Resumo .....	4
Abstract.....	5
Introdução.....	6
Material e Métodos .....	9
Descrição e Caracterização da área experimental .....	9
Amostragem e preparo das amostras de solo.....	13
Cálculos do estoque de Carbono e Nitrogênio no perfil do solo sob os tratamentos .....	15
Estimativa da proporção de carbono do solo derivado da vegetação nativa original .....	16
Análise estatística.....	18
Resultados e Discussão.....	19
Fertilidade e densidade do solo na área sob vegetação nativa e sob os tratamentos de manejo do solo e rotação de culturas	19
Teores de carbono orgânico total e nitrogênio total do solo.....	22
Estoques de Carbono e Nitrogênio no solo sob diferentes tratamentos de preparo e rotação de culturas .....	26
Abundância natural de <sup>13</sup> C no perfil do solo.....	29
Estimativa da proporção de carbono da matéria orgânica do solo derivada da vegetação nativa.....	31
Conclusões.....	36
Referências Bibliográficas.....	36

# Estoques de Carbono e Nitrogênio do Solo após 17 anos sob Preparo Convencional e Plantio Direto em Sistemas de Rotação de Culturas

Claudia Pozzi Jantalia<sup>1</sup>  
Ciro Petreré<sup>2</sup>  
Celso Aita<sup>3</sup>  
Sandro Giacomini<sup>3</sup>  
Segundo Urquiaga<sup>4</sup>  
Bruno José Rodrigues Alves<sup>4</sup>  
Robert Michael Boddey<sup>4</sup>

## Resumo

O sistema plantio direto (PD), utilizado inicialmente para minimizar a erosão do solo provocada pelo preparo convencional (PC), revela-se como de grande potencial para incrementar a matéria orgânica do solo (MOS), principalmente quando praticado com plantas para adubação verde em rotação de culturas. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi o de avaliar o efeito de duas seqüências de culturas, sob PD e PC, no estoque de C e N de um Latossolo Vermelho distrófico. A área experimental se encontrava em Cruz Alta, RS, e existia havia 17 anos. As amostras de solo foram retiradas de várias camadas do solo até 100 cm de profundidade. Além dos estoques de C e N, a origem do C da MOS foi determinada através de técnicas baseadas na abundância natural de  $d^{13}C$ . Na sucessão trigo/soja foram observados os menores estoques de C e N do solo em relação a rotação (trigo/soja – aveia/soja- ervilhaca+aveia/milho). Na sucessão não houve diferenças entre o PD e PC nos estoques de C e N do solo de 0-100cm. As técnicas utilizadas para estimar o C derivado da MOS original apresentaram resultados similares na avaliação dos efeitos dos diferentes tratamentos. A decomposição da MOS original na camada de 0-30cm de profundidade foi semelhante entre os tratamentos. A incorporação de C derivado dos resíduos na MOS foi maior na rotação de culturas.

**Palavras chave:** adubação verde, manejo do solo, ciclagem de carbono.

1 Pós-Doutoranda da Embrapa Agrobiologia / CNPq

2 Pesquisador da FUNDACEP, RS 342, km 149. CEP. 98100-970, Cruz Alta - RS.

3 Professores da UFSM, Av. Roraima, nº 1000, Cidade Universitária, Bairro Camobi. Cep. 97105-900, Santa Maria - RS.

4 Pesquisadores da Embrapa Agrobiologia, BR 465, km 7, CEP 23851-970, Seropédica-RJ. E-mail: bruno@cnpab.embrapa.br; bob@cnpab.embrapa.br; urquiaga@cnpab.embrapa.br

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**, Netherlands, v. 76, p. 39-58, 2004.

SMITH, J. L.; MYUNG, H. U. Rapid procedures for preparing soil and KCl extracts for  $^{15}N$  analysis. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Boca Raton, v. 21, p. 2273-2279, 1990.

TARRÉ, R. M.; MACEDO, R.; CANTARUTTI, R. B.; RESENDE, C. P.; 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**, Netherland, v. 234, p. 15-26, 2001.

TORRES, E.; SARAIVA, O. F. **Camadas de impedimento mecânico do solo em sistemas agrícolas com a soja**. Londrina: Embrapa Soja, 1999. 58 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 23).

URQUIAGA, S.; JANTALIA, C.P.; ZOTARELLI, L.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M. Manejo de Sistemas Agrícolas para Sequestro de Carbono no Solo. In: AQUINO, A.M. de; ASSIS, R.L. de (Ed.). **Processos Biológicos no Sistema Solo-Planta**. Ferramentas para uma agricultura sustentável. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. p. 323-342.

VALLIS, I. Soil nitrogen changes under continuously grazed legume-grass pastures in subtropical coastal Queensland. **Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry**, Victoria, v. 12, p. 495-501, 1972.

VELDKAMP, E. Organic carbon turnover in three tropical soil under pasture after deforestation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, p. 175-180, 1994.

VITORELLO, V. A.; CERRI, C. C.; ANDERSON, F.; FELLER, C.; VICTORIA, R. L. Organic matter and natural carbon-13 distribution in forested and cultivated oxisols. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 53, p. 773-778, 1989.

LAL, R. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO<sub>2</sub>-enrichment. **Soil & Tillage Research**, Netherlands, v. 43, p. 81-107, 1997.

LITTLE, T. M.; JACKSON-HILLS, F. **Agricultural experimentation**. New York: John Wiley, 1978. 350 p.

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 175-187, 2004.

MIELNICZUK, J.; TESTA, V. M.; TEIXEIRA, L. A. J.; PALADINI, F. L. S. ; BAYER, C. Recuperação da produtividade do solo por sistemas de cultivos In: CURSO INTENSIVO SOBRE PLANTIO DIRETO NA PALHA, 1996, Castro. **Resumos...** Castro: Fundação ABC, 1996. p. 116-123.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, n. 3, p. 411-416, 1993.

MUZILLI, O. O plantio direto no Brasil. In: FANCELLI, A. L.; VIDAL-TORRADO, P.; MACHADO, J. (Org.). **Atualização em plantio direto**. Campinas: Fundação Cargill, 1985. p. 3-16.

NEILL, C.; MELILLO, J.; STEUDLER, P. A.; CERRI, C. C.; MORAES, J. F. L.; PICCOLO, M. C.; BRITO, M. Soil carbon and nitrogen stocks following forest clearing for pasture in southwestern Brazilian amazon. **Ecological Applications**, Washington, v. 7, p. 1216-1225, 1997.

PILLON, N. C. **Alterações no conteúdo e qualidade da matéria orgânica do solo induzidas por sistemas de cultura em plantio direto**. 2000. 232 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SIDIRAS, N.; PAVAN M. A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas , v. 9, p. 249-254, 1985.

## Carbon and Nitrogen Stocks in Soil Under 13 Years of Conventional or Zero Tillage in Crop Rotation Systems

---

### Abstract

---

The zero tillage system (ZT) was used initially to reduce soil erosion promoted by conventional tillage (CT), and together with other advantages, this soil tillage system contributed to increase the soil organic matter (SOM), mainly when the crop rotations includes green manure plants. The objective of this study was to determine in a long term experiment (17 yr) the effect of two crop sequences under ZT and CT, on the soil C and N stocks in an Oxisol to a depth of 0-100cm, at Cruz Alta, RS. Also, the proportions of the soil C derived from the original SOM using two techniques based on d<sup>13</sup>C natural abundance were estimated. The soil C and N stocks in 0-100cm were significantly lower in the succession wheat/soybean in relation to the rotation vetch+oat/maize - wheat/soybean - oat/soybean. In the succession the soil C and N stock under ZT and CT was not significantly different. Similar estimates of treatments effects on the original soil organic carbon were obtained using the two d<sup>13</sup>C methods. The evaluation of the effects of the treatments in the changes in soil C derived of original SOM was determined by the two techniques applied. The decomposition of the C original SOM was similar among the treatments to a depth of 0-30cm. The incorporation of C derived from the residues in the SOM was larger in the crop rotation.

**Key words:** green-manure, soil management, carbon turnover

## Introdução

No Brasil, o sistema plantio direto passou a ser adotado em maior escala pelos agricultores, principalmente a partir do início da década de 90. Este sistema de manejo do solo e planta é uma das alternativas disponíveis para o cultivo de grãos e visa reduzir os impactos negativos da movimentação do solo, tais como erosão e perda de matéria orgânica. No sistema de plantio direto (PD), a perturbação física do solo é quase nula. Os rendimentos das culturas e os ingressos de resíduos culturais freqüentemente diferem pouco daqueles do sistema de preparo convencional (PC). Ressalta-se que o plantio direto é uma das práticas mais eficientes para a conservação do solo (MIELNICZUK et al., 1996). Em 2004, estimou-se que a área sob plantio direto no Brasil era próxima de 21 Mha (FEBRAPD, 2004).

Estudos sobre o acúmulo de matéria orgânica do solo, em áreas sob diferentes sistemas de preparo e diferentes rotações de culturas, têm demonstrado efeitos positivos do plantio direto quando plantas de cobertura faziam parte da rotação, especialmente leguminosas para adubação verde (PILLON, 2000; BAYER et al., 2000; SISTI et al., 2004). A utilização de plantas com a finalidade de promover a cobertura do solo e/ou adubação verde tem reconhecido efeito sobre as condições físicas, químicas e biológicas do solo (MIYAZAWA et al., 1993; CALEGARI, 2000). A influência positiva dos adubos verdes com espécies leguminosas na fertilidade do solo é atribuída, principalmente, à incorporação do N derivado da fixação biológica de N<sub>2</sub> (FBN), aumentando a disponibilidade de N para as gramíneas cultivadas em sucessão, que por sua vez irão contribuir com maior quantidade de resíduos (DRINKWATER et al., 1998; LOVATO et al., 2004).

Com a redução da área de cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.) na região Sul do Brasil nos últimos anos, tem aumentado o interesse pelos produtores no uso de adubos verdes, destacando-se a aveia preta (*Avena strigosa* L.) e a ervilhaca (*Vicia villosa*) (HEINRICHS et al., 2001). A escolha de culturas de cobertura com alta produção de biomassa é uma das exigências do sistema de plantio direto para garantir a cobertura do solo, principalmente no verão, quando as

DIEKOW, J.; MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D. P.; KOGEL-KNABNER, I. Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilisation in a southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. **Soil & Tillage Research**, Netherlands, v. 81, p. 87-95, 2005.

DRINKWATER, L. E.; WAGONER, P.; SARRANTONIO, M. Legume-based cropping systems have reduced carbon and nitrogen losses. **Nature**, London, v. 369, p. 262-265, 1998.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: CNPS, 1999. 412 p.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro, 1979. n.p.

FEBRAPDP - FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA. **Área de plantio direto no Brasil**. Disponível em: <[http://www.febrapdp.org.br/area\\_PD\\_Brasil\\_2002.htm](http://www.febrapdp.org.br/area_PD_Brasil_2002.htm)>. Acesso em: 20 dez. 2004.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; VENDRUSCOLO, E. R. O.; CUBILLA, M.; NICOLOSO, R. S.; FRIES, M. R. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 325-334, 2003.

HEINRICHS, R.; AITA, C.; AMADO, T. J. C.; FANCELLI, A. L. Cultivo consorciado de aveia e ervilhaca: Relação C/N da fitomassa e produtividade do milho em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p.331-340, 2001.

HEINRICHS, R.; FANCELLI, A. L. Influência do cultivo consorciado de aveia preta (*Avena strigosa* schieb.) e ervilhaca comum (*Vicia sativa* L.) na produção de fitomassa e no aporte de nitrogênio. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, n.1, p. 27-31, 1999.

CALEGARI, A. Coberturas verdes em sistemas intensivos de produção. In: WORKSHOP NITROGÊNIO NA SUSTENTABILIDADE DE SISTEMAS INTENSIVOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA, 2000, Dourados, MS. **Anais...** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2000. p. 141-153. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 26; Embrapa Agrobiologia. Documentos, 128). Editado por: Fábio Martins Mercante.

CASSOL, L. C.; ANGHINONI, I. Alterações nas características de um podzólico vermelho-escuro após quatro anos de cultivo nos sistemas de plantio direto e convencional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995, Viçosa. **Resumos expandidos...** Viçosa: UFV, 1995. p. 1843-1844.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo de amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, p. 527-538, 1998.

CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; FLECHA, A. M. T.; PAVINATO, P. S.; VIEIRA, F. C. B.; MAI, M. E. M. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia preta/milho, no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 163-171, 2002.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC (Passo Fundo, RS). **Recomendações de adubação e de calagem pra os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 3. ed. Passo Fundo: SBCS, 1995. 224 p.

DA ROS, C. O. ; AITA, C. Efeito de espécies de inverno na cobertura do solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em plantio direto. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, p. 135-140, 1996.

chuvas são mais intensas e os riscos de erosão aumentam. Além disso, após o manejo das culturas de cobertura, toda a biomassa acumulada é deixada sobre o solo, o que significa que a sua utilização nas rotações representa uma maior quantidade de C sendo adicionada ao solo a cada ano.

A aveia preta caracteriza-se pela elevada capacidade de produção de biomassa e apresenta resistência satisfatória a ferrugem, ao ataque de pulgões e à deficiência hídrica (HEINRICHES et al., 2001). Além da facilidade de aquisição de sementes, a aveia preta caracteriza-se pela rusticidade e rápido crescimento inicial (DA ROS & AITA, 1996; CERETTA et al., 2002), assim como facilidade de adaptação ao consórcio (HEINRICHES & FANCELLI, 1999). Por isso, ela tem sido amplamente incluída em sistemas de rotação de culturas, em especial sob plantio direto.

Quanto à ervilhaca, sua preferência deve-se principalmente a sua capacidade de fixar N atmosférico (HEINRICHES et al., 2001). Os trabalhos realizados com esta leguminosa evidenciam que além de cobrir o solo protegendo-o da erosão, pode fornecer uma quantidade de N ao milho, plantado em sucessão, suficiente para substituir parcial (AMADO et al., 2000) ou totalmente (AITA et al., 1994; GIACOMINI et al., 2003) a adubação mineral nitrogenada, podendo resultar até em aumento de produtividade (BORTOLINI et al., 2000). Apesar destes benefícios, os resíduos vegetais da ervilhaca apresentam elevada taxa de decomposição, contrariamente àqueles da aveia que persistem por mais tempo (Da ROS & AITA, 1996).

O consórcio destas duas espécies apresentou características interessantes, produzindo biomassa tão elevada quanto a obtida na aveia solteira, e uma acumulação de N semelhante a da ervilhaca solteira, no entanto com relação C/N próximo a 25, valor considerado próximo ao do limite entre os processos de mineralização e imobilização (AMADO et al., 2000). Enquanto a aveia apresentou 53,6% dos resíduos remanescentes aos 180 dias após seu manejo, no mesmo período foram encontrados apenas 19,5% do material de ervilhaca, que veio desaparecendo exponencialmente numa taxa mais rápida que os de aveia nos

primeiros 30 dias após o manejo. Porém, o pré-cultivo de ervilhaca solteira resultou em maior rendimento de milho, dispensando adubação complementar com N. O aumento da participação da aveia para valores acima de 10% no consórcio prejudicou a produtividade de milho (HEINRICHS et al., 2001). Nesta mesma linha de trabalho, BORTOLINI et al. (2000) evidenciaram que sem a aplicação de N, a produtividade de milho aumentou linearmente com o incremento da proporção de ervilhaca no consórcio com aveia preta, com um ganho de 321 kg ha<sup>-1</sup> de grãos de milho para cada 10% de substituição de aveia por ervilhaca. BASSO & CERETTA (2000) também concluíram que o milho cultivado em sucessão ao consórcio de aveia preta e ervilhaca mostrou melhor desempenho do que quando cultivado sobre resíduos de aveia preta e nabo forrageiro.

Para que ocorra Como a acumulação de C no solo, a entrada de resíduos no sistema deve superar a quantidade decomposta e mineralizada como CO<sub>2</sub>. Logicamente, o potencial produtivo estará dependente da oferta de nutrientes, especialmente N, um dos que mais limitam a produção na agricultura tropical, e por isso a necessidade de se manter rotações de culturas que permitam um balanço positivo de N para o solo é evidente (JRQUIAGA et al., 2005). Dessa forma, não só a quantidade de biomassa usada na adubação verde mas sua qualidade repercutem no desempenho da cultura sucessora em termos de produtividade, e conseqüentemente na quantidade de resíduos deixados após a colheita. Embora as leguminosas usadas na adubação verde normalmente acumulem menos massa que as gramíneas, sua vantagem quanto a fertilização do solo é evidente, principalmente em termos de N, provocando ganhos de produção de culturas sucessoras como a do milho que deixam grande quantidade de resíduos. O ajuste entre quantidades de nutrientes exportados e introduzidos no sistema, assim como entre as quantidades de C que se depositam como resíduos e aquelas que se decompõem, é um dos desafios que se busca atingir na experimentação de sistemas de produção voltados para alta produtividade com seqüestro de C no solo, o que somente se consegue verificar a longo prazo.

BALBUINO, R. **A fisionomia do Rio Grande do Sul**: ensaio de monografia natural. São Leopoldo, RS: UNISINOS, 1980. 120 p. 1980.

BALESDENT, J.; MARIOTTI, A.; BOIGONTIER, D. Effect of tillage on soil organic carbon mineralization estimated from <sup>13</sup>C abundance in maize fields. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 41, p. 587-596, 1990.

BALESDENT, J.; WAGNER, G. H.; MARIOTTI, A. Soil organic matter turnover in long-term field experiments as revealed by carbon-13 natural abundance. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 52, p. 118-124, 1988.

BASSO, C. J.; CERETTA, C. A. Manejo do nitrogênio no milho em sucessão a plantas de cobertura de solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 24, p. 905-915, 2000.

BAYER, C.; MIELNICZUCK, J.; AMADO, T. J. C.; MARTIN-NETO, L.; FERNANDES, S. V. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Netherlands, v. 54, p. 101-109, 2000.

BORTOLINI, C. G.; SILVA, P. R.; ARGENTA, G. Sistemas consorciados de aveia preta e ervilhaca comum como cobertura de solo e seus efeitos na cultura do milho em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 24, p. 897-903, 2000.

BRASIL Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Rio Grande do Sul**. Recife, 1973. 431 p. (Boletim Técnico, 30).

BREMNER, J. M.; MULVANEY, C. S. Nitrogen-total. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1982. p. 595-641. Part 2.

CADISCH, G. ; GILLER, K. E. Estimating the contribution of legumes to soil organic matter build up in mixed communities of C<sub>3</sub>/C<sub>4</sub> plants. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 28, p. 823-825, 1996.

## Conclusões

- ✓ Na sucessão trigo/soja foram observados estoques menores de C e N no perfil do solo de 0-100 cm em relação a rotação (ervilhaca + aveia/milho - trigo/soja – aveia/soja).
- ✓ Na sucessão trigo/soja não houve diferença entre o plantio direto e o preparo convencional quanto aos estoques de C e N no perfil do solo de 0-100 cm.
- ✓ A rotação ervilhaca + aveia/milho - trigo/soja – aveia/soja, sob plantio direto, apresentou os maiores estoques de C e N no perfil do solo de 0-100 cm. As diferenças em relação aos estoques de C e N do preparo convencional foi de 8,8 Mg C ha<sup>-1</sup> e 0,6 Mg N ha<sup>-1</sup>, observados nas camadas do solo abaixo de 30 cm de profundidade.
- ✓ As duas técnicas utilizadas para estimar o C derivado da matéria orgânica original do solo foram satisfatórias e complementares, permitindo a avaliação dos efeitos de longo prazo dos diferentes tratamentos de rotação de culturas e manejo do solo.
- ✓ Após 17 anos, a decomposição da matéria orgânica original do solo na camada de 0-30 cm de profundidade teve um comportamento semelhante entre tratamentos de seqüência de culturas e manejo do solo. A incorporação de C na matéria orgânica do solo derivado dos resíduos foi maior sob a rotação ervilhaca + aveia/milho - trigo/soja – aveia/soja.

## Referências Bibliográficas

- AITA, C.; CERETTA, C. A.; THOMAS, A. L.; PAVINATO, A.; BAYER, C. Espécies de inverno como fonte de nitrogênio para o milho no sistema de cultivo mínimo e feijão em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, p. 101-108, 1994.
- AMADO, T. J. C.; MILENICZUK, J.; FERNANDES, S. B. V. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 24, p. 179-189, 2000.

Neste sentido o objetivo deste trabalho foi determinar o efeito de duas rotações de culturas sob plantio direto e preparo convencional, no estoque de C e N de um Latossolo Vermelho, em um experimento de 17 anos, conduzido em Cruz Alta, Rio Grande do Sul. Além disso, foram determinados os efeitos dos restos culturais na manutenção e na renovação do C da matéria orgânica do solo.

## Material e Métodos

### Descrição e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido na Fundação Centro de experimentação e Pesquisa Fecotriga – FUNDACEP, localizada no município de Cruz Alta (latitude de 28°29'S e na longitude de 53° 36'W, 470 m acima do mar), na região fisiográfica do Planalto Médio do estado do Rio Grande do Sul, que se inicia e se eleva da parte central para terminar no nordeste do estado. Nessa região, as altitudes iniciam em 470 m (como em Cruz Alta) e vão até 700m, como em Passo Fundo.

A área experimental da FUNDACEP iniciou os cultivos de trigo e soja sob cultivo convencional há aproximadamente 20 anos antes do presente estudo, que foi iniciado em 1985, quando uma área anteriormente cultivada com trigo e soja foi dividida para a instalação de diferentes tratamentos de manejo do solo e rotação de culturas. As características químicas do solo no início do experimento encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização química do solo (0-10 cm) da área experimental antes da implementação dos tratamentos de manejo do solo e rotação de cultura (1985).

M.O (g dm <sup>-3</sup> )	pH (água)	PH (SMP)	P mg dm <sup>-3</sup>	K	Al + H mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Ca + Mg
3,2	4,5	5,1	19	82	1,2	4,2

O solo da área experimental foi classificado como um Latossolo Vermelho distrófico típico com textura franco argilosa (EMBRAPA,

1999), pertencente a unidade de mapeamento Passo Fundo (BRASIL, 1973).

Antes da implantação do experimento foram aplicadas 5 ton ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico (70% de PRNT), incorporadas com duas operações de gradagem.

As áreas foram divididas em duas faixas para instalação dos sistemas de manejo do solo: 1) plantio direto (PD); e 2) preparo convencional com grade pesada e 2 passagens de grade niveladora após milho e aveia, ou com escarificação e gradagem após soja e trigo (PC). O solo foi revolvido até 15 a 17 cm de profundidade com o escarificador; de 12 a 15 cm com a grade pesada; e de 8 a 10 cm com a grade niveladora. Estas áreas foram subdivididas nos diferentes tratamentos de rotação de cultura, descritos na Tabela 2, que envolveram as seguintes culturas e plantas de cobertura: trigo (*Triticum aestivum* L.); soja (*Glycine max* (L.) Merr); milho (*Zea Mays* L.); aveia preta (*Avena strigosa* Schieb. ); e ervilhaca (*Vicia sativa* L.).

Tabela 2. Tratamentos de rotação de culturas do experimento.

Seqüência	Ano 1	Ano 2	Ano 3
Sucessão	Trigo/soja	Trigo/soja	Trigo/soja
Rotação 1 – a	Trigo/soja	Aveia/soja	Ervilhaca + aveia/milho
Rotação 1 – b	Ervilhaca + aveia/milho	Trigo/soja	Aveia/soja
Rotação 1 – c	Aveia/soja	Ervilhaca + aveia/milho	Trigo/soja
Rotação 2	Aveia/soja	Aveia/soja	Trigo/soja

A rotação 1, de três anos, foi estabelecida em três parcelas simultaneamente, sendo cada ano da rotação indicado pelas letras a, b e c.

Para este estudo foram avaliados apenas os tratamentos de sucessão trigo/soja e da rotação 1-b (cujo ano 1 teve ervilhaca + aveia preta/milho). Estes tratamentos serão denominados como S (sucessão) e R (rotação), respectivamente. A seqüência de culturas nesses dois tratamentos, do ano 1985 ao inverno de 2002, encontra-se na Tabela 3.

A utilização do consórcio aveia+ervilhaca, usada no presente estudo, parece será chave para explicar as diferenças entre os dois estudos. Esse consórcio, além de apresentar uma produção de fitomassa maior que o cultivo solteiro de ervilhaca, estudado por SISTI et al. (2004), beneficiou a incorporação de C nesta camada do solo (0-30 cm), provavelmente pela composição vegetal com valores de relação C/N intermediários, de mineralização mais lenta do que o material puro de ervilhaca.

Aplicando-se a técnica desenvolvida por CADISCH & GILLER (1996) para calcular o C derivado dos resíduos das culturas, encontraram-se resultados semelhantes aos derivados da técnica 1, nos dois sistemas de manejo do solo (Tabela 10). Em relação aos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  dos resíduos calculados pelo balanço de massa isotópica, estes ficaram muito próximos aos valores encontrados pela técnica 1.

Tabela 10. Estoque de carbono total, abundância natural de  $^{13}\text{C}$  e estimativas do C derivado da matéria orgânica original e dos resíduos da rotação sob PD e PC. Os cálculos se baseiam na suposição de CADISCH & GILLER (1996), descrita em Material e Métodos.

Manejo	Intervalo (cm)	C Total		Mg C ha <sup>-1</sup> derivado de:		$\delta^{13}\text{C}$ derivado dos resíduos
		(Mg ha <sup>-1</sup> )	(‰)	MOS original	Culturas	
PD rotação						
	0-5	18,24	-20,23	9,73	8,51	-24,50
	5-10	15,86	-19,50	10,97	4,89	-26,23
	10-15	13,44	-18,45	10,12	3,32	-24,42
	15-20	12,04	-18,15	9,81	2,23	-25,42
	20-30	21,52	-17,06	18,30	3,22	-20,25
Total		81,10		58,94	22,16	(-24,16)
PC rotação						
	0-5	16,14	-20,71	9,00	7,13	-26,65
	5-10	15,64	-20,01	9,79	5,85	-26,71
	10-15	13,89	-19,05	10,74	3,16	-29,42
	15-20	12,20	-18,13	10,46	1,74	-30,92
	20-30	19,61	-16,78	17,84	1,77	-24,59
Total		77,49		57,83	19,66	(-27,66)

com utilização de adubos verdes. Além dos estoques de C e N, a distribuição dos teores de C e N, discutidos anteriormente, foram os principais parâmetros contrastantes em relação aos resultados encontrados por SISTI et al. (2004).

Tabela 9. Abundância natural de  $^{13}\text{C}$  e conteúdo de C total do solo (0-30 cm) sob as seqüências de culturas após 17 anos de cultivo sob plantio direto (PD) ou preparo convencional (PC). Os cálculos da proporção do C da vegetação original (original) e das culturas foram feitos de acordo com a técnica 1, descrita em Material e Métodos.

Manejo do solo/Seqüência de culturas	Profundidade (cm)	$\delta^{13}\text{C}$ do solo ‰	% C derivado de:		C Total Mg C ha <sup>-1</sup>	Mg C ha <sup>-1</sup> derivado:	
			original	Resíduos culturais		original	Resíduos culturais
PD/Sucessão	0-5	-22,67	56	44	17,50	9,73	7,77
	5-10	-19,69	77	23	14,24	10,97	3,27
	10-15	-18,43	86	14	11,75	10,12	1,63
	15-20	-17,31	94	6	10,42	9,81	0,60
	20-30	-16,74	98	2	18,62	18,30	0,32
	Total				72,5	58,94	13,59
PD/Rotação	0-5	-20,23	53	47	18,24	9,74	8,51
	5-10	-19,50	63	38	15,86	9,92	5,95
	10-15	-18,45	76	24	13,44	10,16	3,28
	15-20	-18,15	79	21	12,04	9,55	2,48
	20-30	-17,06	93	7	21,52	20,01	1,51
	Total				81,1	59,38	21,73
PC/Sucessão	0-5	-21,59	56	44	16,18	9,00	7,18
	5-10	-20,41	65	35	15,06	9,79	5,27
	10-15	-18,94	77	23	14,00	10,74	3,27
	15-20	-17,75	86	14	12,15	10,46	1,68
	20-30	-16,91	93	7	19,23	17,84	1,39
	Total				76,6	57,83	18,80
PC/Rotação	0-5	-20,71	56	44	16,14	8,97	7,17
	5-10	-20,01	62	38	15,64	9,73	5,91
	10-15	-19,05	71	29	13,89	9,90	4,00
	15-20	-18,13	80	20	12,20	9,75	2,45
	20-30	-16,78	93	7	19,61	18,18	1,44
	Total				77,5	56,52	20,97

Tabela 3. Seqüência de culturas realizada nos dois tratamentos de manejo, de 1985 a 2002.

Ano	Estação	Sucessão	Rotação	Ano	Estação	Sucessão	Rotação
1985	Inverno	Trigo	erv.+aveia	1994	Inverno	Trigo	erv.+aveia
	Verão	Soja	milho		Verão	Soja	milho
1986	Inverno	Trigo	trigo	1995	Inverno	Trigo	trigo
	Verão	Soja	soja		Verão	Soja	soja
1987	Inverno	Trigo	Aveia	1996	Inverno	Trigo	Aveia
	Verão	Soja	soja		Verão	Soja	soja
1988	Inverno	Trigo	erv.+aveia	1997	Inverno	Trigo	erv.+aveia
	Verão	Soja	milho		Verão	Soja	milho
1989	Inverno	Trigo	trigo	1998	Inverno	Trigo	trigo
	Verão	Soja	soja		Verão	Soja	soja
1990	Inverno	Trigo	aveia	1999	Inverno	Trigo	Aveia
	Verão	Soja	soja		Verão	Soja	soja
1991	Inverno	Trigo	erv.+aveia	2000	Inverno	Trigo	erv.+aveia
	Verão	Soja	milho		Verão	Soja	milho
1992	Inverno	Trigo	trigo	2001	Inverno	Trigo	trigo
	Verão	Soja	soja		Verão	Soja	soja
1993	Inverno	Trigo	aveia	2002	Inverno	Trigo	aveia
	Verão	Soja	soja				

A cada cultivo, estirpes de *Bradyrhizobium* sp., recomendadas para a cultura da soja, foram inoculadas na proporção de 200g de inoculante comercial para cada 60 kg de sementes.

As adubações seguiram as recomendações da COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC (1995). Para o plantio da aveia + ervilhaca utilizaram-se 100 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 00-20-20, apenas nos três primeiros anos. O total de nutrientes aplicado nos tratamentos encontra-se na Tabela 4.

Tabela 4. Quantidades de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O (kg ha<sup>-1</sup>) adicionados pelas adubações realizadas de 1985 a 2002, nos diferentes sistemas de culturas, nos dois sistemas de preparo do solo.

Sistemas de culturas	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
	-----kg ha <sup>-1</sup> -----		
Trigo/soja	1.020	2.040	3.060
Ervilhaca+aveia preta/milho - Trigo/soja – aveia preta/soja	900	1.480	2.170

Após a coleta de informações sobre o histórico da área experimental, foi amostrado um perfil de solo de uma área que estava sob vegetação de campo nativo, localizada a cerca de 2 km de distância da área onde se encontrava o experimento. Essa área, considerada aqui como controle, teve a vegetação original removida juntamente com as demais áreas do campo experimental, porém a diferença é que foi utilizada como área de descanso e pastejo para cavalos, deixando-se que espécies de gramíneas de crescimento rasteiro, como a grama torquilha (*Paspalum conjugatum* Bergius), ocupassem o terreno sem qualquer manejo específico, ganhando uma aparência de campo nativo. Além da semelhança quanto ao manejo da vegetação nativa, seria importante para o presente estudo que as áreas envolvidas apresentassem um mesmo tipo de solo, com mesma classe textural.

Para constatar se o solo da área experimental e o da área controle pertenciam a mesma classe textural, foi determinado o conteúdo de areia. Para esta análise, foram comparadas amostras do perfil de solo da área controle e da rotação, nos dois sistemas de preparo do solo. O procedimento de análise do conteúdo de areia é descrito a seguir: Para cada amostra de 10 g de solo seco, foram adicionados 50 ml de água destilada e 10 ml de solução 1 M de hidróxido de sódio, mistura feita em um erlenmeyer, que permaneceu por 12 horas em uma mesa agitadora à 230 RPM. Após a agitação para dispersão das partículas, o conteúdo foi passado através de peneira com 20 cm de diâmetro e malha de 0,053 mm (nº 270 Mesh). O material retido na peneira foi lavado com jato forte de água de torneira, processo acabado com o auxílio de um pisete, de forma

As estimativas da proporção do C do solo derivado da vegetação nativa e dos resíduos culturais pela aplicação do modelo acima mencionado (Tabela 9) indicaram que na sucessão sob PD e PC 44% do C na camada de 0-5 cm derivaram dos resíduos. No PD, na camada entre 5-30 cm, os percentuais foram menores que no PC. Este resultado reflete o manejo que os resíduos receberam nestes tratamentos com o passar do tempo. Sob PD, os resíduos de colheita permaneceram sob superfície, enquanto sob PC o revolvimento misturou os resíduos em profundidade. Os maiores percentuais de participação dos resíduos juntamente com o maior estoque de C total que o PC apresentou em relação ao PD, proporcionaram uma maior quantidade de C derivado de resíduos, com 18,8 Mg C ha<sup>-1</sup>.

Na rotação sob PD, um maior percentual de participação dos resíduos na camada de 0-5 cm foi observado, enquanto que sob PC foi observado um maior percentual na camada de 10-15 cm, sendo os resultados equivalentes nas demais camadas. Como os estoques de C até 30 cm de profundidade nestes tratamentos foram semelhantes, a quantidade média de C derivado dos resíduos vegetais destes tratamentos foi 21,33 Mg C ha<sup>-1</sup>.

A principal diferença entre as seqüências de culturas pode ser atribuída as adições de resíduos. Na rotação, que apresentou maior produção de fitomassa, e conseqüentemente maiores adições de C e N, foram observados os maiores estoques de C incorporados no solo proveniente dos resíduos. A similaridade entre os tratamentos de manejo do solo sugere que não produziram grandes diferenças nas taxas de mineralização da matéria orgânica original.

Na sucessão, o PD apresentou menores estoques de C nesta camada pela maior incorporação de C dos resíduos que aconteceu no PC. Na rotação, a influência dos sistemas de manejo do solo na taxa de mineralização do C original foi muito sutil, com o PC apresentando de 3 Mg C ha<sup>-1</sup> a menos o PD. Este resultado no estoque de C da matéria orgânica original do solo, difere dos resultados encontrados por SISTI et al. (2004), onde houve uma forte tendência a maior mineralização da matéria orgânica original do solo no preparo convencional mesmo em rotação de culturas

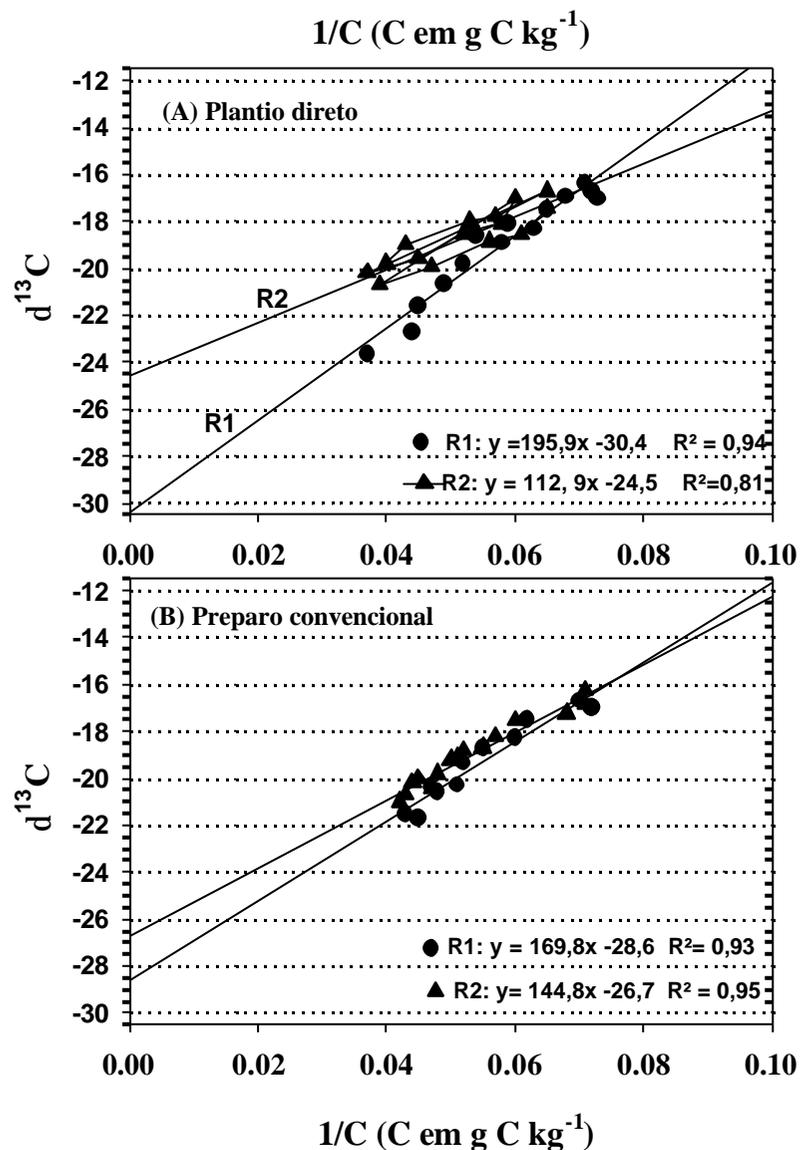


Figura 4. Regressões entre o inverso dos valores de carbono total ( $\text{g C kg}^{-1}$  de solo) e da abundância de  $^{13}\text{C}$  das amostras de solo dos tratamentos de rotação de culturas (3 repetições) sob PD (A) e PC (B) nas diferentes camadas entre 0-30 cm de profundidade.

que apenas a areia permanecesse na peneira. Em seguida, a fração areia foi transferida para uma placa de Petri, de peso conhecido, eliminando-se o excesso de água, e em seguida colocado na estufa a  $105^\circ\text{C}$ , por 36 horas, sendo pesado posteriormente (EMBRAPA, 1979). Os resultados da análise do teor de areia (Tabela 5) demonstraram que o solo nestas duas áreas pertencem a mesma classe textural.

Tabela 5. Teores de areia ( $\text{g kg}^{-1}$ ) no perfil do solo (0-100 cm) da área controle e da rotação 1-b sob PD e PC.

Profundidade (cm)	Rotação		Área Controle
	PD <sup>a</sup>	PC $\text{g kg}^{-1}$	
0-10	240	230	220
10-20	240	250	230
20-30	220	230	210
30-40	210	200	190
40-60	170	160	150
60-80	180	150	150

Os valores representam a média de 3 repetições por tratamento

<sup>a</sup> Nas linhas, os valores não diferem entre si pelo teste LSD de Student ( $P < 0,05$ ).

### Amostragem e preparo das amostras de solo

A amostragem do solo foi realizada em maio de 2002, nas seguintes camadas do solo: 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80, 80-100 cm. Foram retiradas 3 amostras compostas (4 subamostras) por tratamento da área experimental e da área controle, utilizando-se trado holandês. Nos mesmos intervalos de profundidade também foi determinada a densidade do solo, com três repetições por tratamento, utilizando o método do anel volumétrico descrito em EMBRAPA (1979). Para a retirada das amostras de densidade do solo, foi aberta uma trincheira em cada tratamento com 1 metro de profundidade, 1 metro de largura e 1 metro de comprimento, sendo as repetições retiradas de três faces internas

da trincheira. As amostras foram secas em estufa a 110°C por 72 horas e pesadas.

As amostras compostas, obtidas com trado, foram secas ao ar e peneiradas em malha de 2 mm. Nessas amostras, foram realizadas as seguintes análises químicas do solo: pH em água, Al trocável, Ca + Mg trocáveis, Ca trocável, P assimilável e Potássio trocável. As análises foram realizadas no laboratório de solos da Embrapa Agrobiologia, conforme a metodologia descrita em EMBRAPA (1979). Para análise de carbono orgânico total e nitrogênio total, subamostras de solo foram pulverizadas em moinho de rolagem seguindo metodologia descrita por SMITH & MYUNG (1990). Nessas mesmas amostras foi feita análise de abundância natural de  $^{13}\text{C}$ , cujos resultados foram expressos em unidades delta, para utilização na estimativa do C do solo derivado da vegetação nativa original e das culturas.

A concentração de carbono orgânico total do solo foi determinada pelo método de combustão a seco. Foram pesados aproximadamente 300 mg de cada amostra de solo, com precisão de 4 casas decimais, em cápsulas de estanho e analisadas em um autoanalisador de carbono, a 900°C (modelo CHN-600, LECO Corp., St. Joseph, MI, USA), no laboratório de solos da Embrapa Agrobiologia. A cada 10 amostras o aparelho foi calibrado com amostras-padrão do laboratório.

A concentração de nitrogênio do solo foi determinada em alíquotas de 1000 mg de solo utilizando-se o método de digestão semi-micro Kjeldahl (BREMNER & MULVANEY, 1982), digerindo-se as amostras com ácido sulfúrico concentrado e catalisadores ( $\text{CuSO}_4/\text{K}_2\text{SO}_4/\text{Se}$ , na proporção de 100:10:1) a 150 °C por 1 hora e depois 300 °C por mais 3 horas (ou até o clareamento da solução). Após a digestão, as amostras foram alcalinizadas com 20 ml de NaOH 50%, destiladas em arraste a vapor e tituladas com uma solução alcoólica de ácido bórico + azul de bromotimol + vermelho de metila em um destilador automático Kjeltex Auto-analyzer modelo 1030 (TECATOR, Höganäs, Sweden).

A abundância isotópica de  $^{13}\text{C}$  do solo foi determinada em alíquotas contendo entre 200 e 400 µg de carbono total, utilizando-se um

### **Estimativa da proporção de carbono da matéria orgânica do solo derivada da vegetação nativa.**

Como não foi encontrada uma área que representasse a vegetação que ocupou a área antes da instalação do experimento, foi utilizado o procedimento descrito por BALESIDENT et al. (1990) para estimar o carbono derivado da matéria orgânica original do solo, ou seja, aquela que estava presente no solo no início do experimento. Para utilizar este procedimento foi preciso assumir que a abundância de  $^{13}\text{C}$  do C derivado da vegetação original foi constante na camada de 0-30 cm. As regressões obtidas nos tratamentos de manejo do solo encontram-se na Figura 4.

Os resultados obtidos nos dois sistemas de manejo apresentaram um padrão similar, o que difere dos resultados obtidos por SISTI et al. (2004). Uma possível causa da diferença entre ambos estudos pode estar na distribuição do teor de C total e  $d^{13}\text{C}$  do preparo convencional. No presente estudo, os tratamentos sob PC apresentaram uma gradual alteração no C total e  $d^{13}\text{C}$ , tal como ocorreu no plantio direto. No estudo realizado por SISTI et al. (2004) a distribuição dos valores destes parâmetros foi constante entre a camada de 0-30 cm, ou seja, os valores na camada de 0-5 e 20-30 cm eram muito semelhantes.

Os coeficientes obtidos nas regressões em todos os tratamentos foram altos (Figura 4). Os valores de  $d^{13}\text{C}$  obtidos no ponto em que a linha das regressões da sucessão interceptam o eixo Y determinaram valores próximos ao  $d^{13}\text{C}$  de resíduos de trigo e soja (-28,8‰), embora em PD este valor tenha sido 1,5 deltas mais negativo (-30,4‰) do que em PC (-28,6‰). Na rotação, estes valores foram de -24,5‰ e -26,6‰ em PD e PC, respectivamente. As regressões das duas seqüências de culturas determinaram o valor de -16,5‰ em PD e -16‰ em PC respectivamente, como a abundância  $^{13}\text{C}$  do C derivado da vegetação original. Os valores obtidos foram utilizados no modelo padrão de mistura simples de duas fontes de C, nos respectivos tratamentos de seqüências de culturas e manejo do solo.

negativos, determinando claramente a incorporação dos resíduos de trigo e soja na matéria orgânica do solo. Esta incorporação foi mais intensa na camada de 0-5 cm e 5-10 cm, e de menor intensidade na camada 10 a 20 cm de profundidade. Na rotação, os valores mais positivos de  $\delta^{13}\text{C}$  da camada de 0-5 cm refletiu a mistura de plantas  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$  da rotação, embora a predominância tenha sido de plantas  $\text{C}_3$ . A incorporação dos resíduos culturais neste tratamento parece ter influenciado os valores até 30 cm de profundidade.

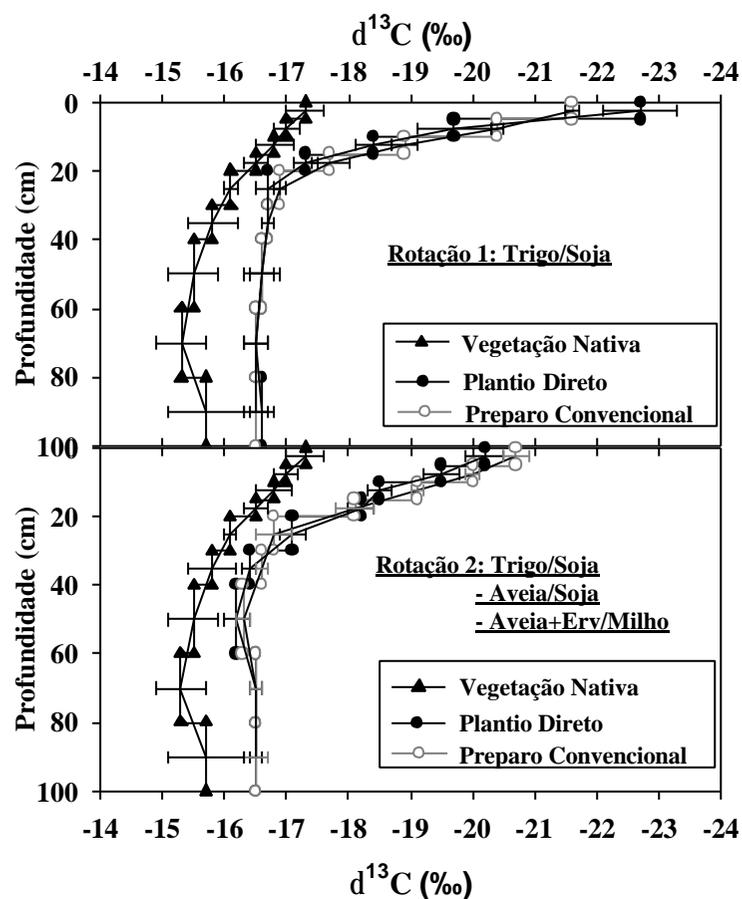


Figura 3. Abundância natural de  $\delta^{13}\text{C}$  observados no perfil de solo da área controle (vegetação de campo nativo) e sob os tratamentos da área cultivada. As barras representam o erro padrão da média.

espectrômetro de massas de relação isotópica (Finnigan DeltaPlus acoplado em um auto-analisador de C e N Carlo Erba EA 1108, Bremen, Alemanha)

### Cálculos do estoque de carbono e nitrogênio no perfil do solo sob os tratamentos

A quantificação dos estoques de C e N no perfil do solo, tanto na área controle quanto na área do experimento com culturas, foi feita para quantidades iguais de solo por camada avaliada até as profundidades de 0-30 cm e 0-100 cm (VELDKAMP, 1994; NEILL et al., 1997). As quantidades de solo existentes nas camadas de 0-30 e 0-100 cm de profundidade da área controle foram consideradas como representativas da condição inicial do solo antes do estabelecimento do experimento em 1985.

Este procedimento foi inicialmente recomendado por VALLIS (1972), e assume que a compactação decorrente das operações mecânicas é mais significativa nas camadas superficiais do perfil do solo. Assim os estoques de C e N nos tratamentos foram calculados subtraindo-se da camada mais profunda (80-100 cm) as quantidades de C e N contidas na massa extra desta profundidade (NEILL et al., 1997).

Esta correção foi expressa matematicamente por SISTI et al. (2004), pela equação a seguir:

$$C_S = \sum_{i=1}^{n-1} C_{Ti} + \left[ M_{Tn} - \left( \sum_{i=1}^n M_{Ti} - \sum_{i=1}^n M_{Si} \right) \right] C_{Tn} \quad \text{Equação 1}$$

Onde  $C_S$  é o estoque de carbono total no solo ( $\text{Mg C ha}^{-1}$ ), em uma profundidade onde a massa de solo é a mesma daquela observada no perfil de solo da área controle;  $\sum_{i=1}^{n-1} C_{Ti}$  é a soma do conteúdo de

carbono total ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) na camada 1 (superfície) até a camada  $n-1$  (penúltima) no perfil do solo sob os tratamentos com culturas;  $\sum_{i=1}^n M_{Si}$  é a soma da massa de solo ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) na camada 1 à camada  $n$  (última camada) no perfil do solo da área controle;  $\sum_{i=1}^n M_{Ti}$  é a soma

da massa de solo ( $Mg\ ha^{-1}$ ) na camada 1 à 'n' no perfil do solo sob os tratamentos com culturas;  $M_n$  e  $C_{Tn}$  são, respectivamente, a massa de solo (em Mg) e a concentração de carbono ( $g\ C\ kg\ solo^{-1}$ ) na última camada do perfil do solo sob os tratamentos com culturas.

A condição ideal para a utilização desse procedimento é aquela em que o perfil do solo utilizado como referência seja de uma vegetação nativa próxima aos tratamentos agrícolas avaliados. Mas, em casos onde não exista essa condição, ou o histórico da área não seja bem conhecido, pode-se utilizar uma área ou tratamento que apresente menor densidade do solo, ou seja, menor massa de solo por camada no perfil a ser avaliado.

### **Estimativa da proporção de carbono do solo derivado da vegetação nativa original**

A técnica desenvolvida por BALESSENT et al. (1990) foi utilizada para determinar as proporções de carbono da matéria orgânica derivada da vegetação original e dos resíduos das culturas plantadas após a retirada dessa vegetação.

A técnica 1 é baseada no modelo simples de mistura de duas fontes de carbono, A e B, que apresentam uma abundância natural de  $^{13}C$ ,  $\delta_A$  e  $\delta_B$ , respectivamente. A abundância de  $^{13}C$  resultante da mistura das duas fontes ( $\delta M$ ) pode ser descrita pela equação:

$$\delta M = f\delta_A + (1 - f)\delta_B \quad \text{Equação 2}$$

Se o conteúdo de carbono orgânico total é conhecido ( $g\ C\ kg\ solo^{-1}$ ), então as quantidades de carbono das duas fontes serão  $C_A = fC$  e  $C_B = (1 - f)C$ , respectivamente. A Equação 9 pode ser escrita:

$$\delta M = (1/C)(\delta_A - \delta_B)C_A + \delta_B \quad \text{Equação 3}$$

Para este estudo, A representa o carbono orgânico do solo derivado da vegetação nativa original, e B o carbono derivado dos resíduos/raízes das culturas.

A regressão de  $\delta^{13}C$  (a medida de abundância de  $^{13}C$ ) para cada intervalo de profundidade versus  $1/C$  resulta em um intercepto no eixo Y que será o  $\delta^{13}C$  do carbono derivado dos resíduos das

### **Abundância natural de $^{13}C$ no perfil do solo**

Na área controle, sob vegetação de campo nativo, a composição isotópica de  $\delta^{13}C$  do C do solo, de 0 a 80 cm de profundidade, demonstrou diferenças em relação aos valores encontrados sob a área cultivada. Apenas os valores de  $\delta^{13}C$  abaixo de 80 cm de profundidade ficaram próximos aos da área sob cultivo (Figura 3). Por estes resultados esta área não foi considerada adequada como referência para os cálculos das estimativas de carbono remanescente da vegetação original. Para realizar estes cálculos foram adotados os procedimentos descritos na seção 2.3.6, de material e métodos.

Nestas duas áreas os valores de  $\delta^{13}C$  abaixo de 40 cm de profundidade foram intermediários ( $-16\text{‰}$ ), ou seja, indicam que houve influência de plantas de ciclo  $C_4$  (gramíneas de campo nativo) e plantas de ciclo  $C_3$  (floresta) na composição do C da matéria orgânica do solo. Estes valores intermediários de  $^{13}C$  também ocorreram em estudos realizados em Passo Fundo, RS (SISTI et al., 2004) e em Piracicaba, SP (VITORELLO et al., 1989). Estas observações refletem a dinâmica da ocupação da área por vegetações naturais ocorrida há muitos anos atrás. No caso específico desta região do planalto do Rio Grande do Sul, existem descrições da presença de áreas com vegetação rasteira com predominância de gramíneas, que eram intercaladas com áreas de vegetação de mata. Em muitos casos estas matas foram lentamente ocupando as áreas de campo (BALBUINO, 1980). Em TARRÉ et al. (2001), a avaliação de  $\delta^{13}C$  no perfil de solo sob floresta revelou uma diferença de 1 a 2 deltas ( $\delta^{13}C$ ) menos negativa entre a camada superficial (0-30 cm) e as camadas mais profundas, mas os valores de  $\delta^{13}C$  determinaram que a MOS era derivada da floresta.

Com relação à área sob os diferentes tratamentos de preparo do solo e rotação de culturas, é possível observar que as sequências de culturas determinaram diferenças significativas na composição de  $^{13}C$  na camada de 0-5 cm de profundidade. Na sucessão, foi observada uma distribuição semelhante nos valores de  $\delta^{13}C$  nos dois tratamentos de manejo do solo. Estes valores foram mais

Na sucessão foram adicionadas as maiores quantidades de N na forma de fertilizante, mas as quantidades de C e N totais depositados pelos resíduos foram menores do que na rotação. Como foi discutida anteriormente, esta menor adição dos resíduos de trigo e soja é decorrente de problemas de pragas e doenças causados pelo cultivo contínuo dessas culturas, o que afeta a produção. Outro aspecto importante do cultivo contínuo dessas culturas pode estar relacionado ao balanço de nitrogênio. Embora a soja tenha apresentado um valor alto da contribuição da FBN, a soma do N derivado da FBN e N fertilizante (esta última, sujeita a perdas no momento da aplicação) podem ser menores do que a quantidade de N que está sendo exportada pelos grãos de soja e trigo. Na região de Londrina-PR, ZOTARELLI (2000) encontrou que um ano de uma seqüência soja-trigo acarretou em balanço negativo de N para o solo, onde as altas contribuições da FBN na cultura da soja não foram suficientes para compensar a exportação de N nos grãos desta cultura. Nesse mesmo estudo, a quantidade de N fertilizante adicionado a cultura do trigo em sucessão a soja foi insuficiente para compensar o N exportado nas 2,5 toneladas de grãos produzidas.

Os resultados observados quanto ao estoque de C e N na rotação, podem ser atribuídos aos benefícios que a maior alternância de culturas proporcionou no aumento da produção, e logo da quantidade de resíduos depositados no solo. Essa maior adição também é resultado do cultivo de aveia, e do consórcio ervilhaca/aveia utilizado como adubo verde por dois anos consecutivos (LAL, 1997; DRINKWATER et al., 1998; BAYER et al., 2000). Esta rotação de culturas pode estar contabilizando assim um efeito positivo no balanço de N, que está atrelado à adição de C, permitindo a incorporação conjunta destes elementos à matéria orgânica do solo. Esta última observação fica demonstrada pelas maiores quantidades no estoque de N total observados, principalmente sob PD na rotação, nas camadas de 30-80 cm e 0-100 cm de profundidade. No entanto, a rotação sob PC também demonstrou os benefícios da diversificação de culturas no estoque de C e N no solo quando comparado com aqueles observados na sucessão (T/S).

culturas ( $\delta_B$ ), e a inclinação será  $(\delta_A - \delta_B)C_A$ . Adicionalmente, BALESIDENT et al. (1990) demonstraram que se essa regressão for aplicada em dados de diferentes sistemas de culturas, instalados em uma área uniforme, cuja matéria orgânica do solo foi derivada de uma mesma vegetação original, o ponto em que as linhas das regressões dos diferentes sistemas se cruzam pode ser considerado como a abundância natural de  $^{13}\text{C}$  do carbono do solo derivado da vegetação original. Este procedimento assume que a abundância natural de  $^{13}\text{C}$  da vegetação nativa original é constante com a profundidade.

Para o presente estudo, o valor da abundância de  $^{13}\text{C}$  do C do solo sob vegetação nativa original, determinado pelo procedimento das regressões, foi utilizado na sucessão (que possui apenas espécies  $C_3$ ), o que permitiu determinar a proporção de C derivado da vegetação nativa original e dos resíduos de culturas desse tratamento. Assim, os valores médios de  $\delta^{13}\text{C}$  do C do solo sob a sucessão ( $\delta_B$ ) e da área controle foram utilizados no modelo simples padrão (BALESIDENT et al., 1988) para calcular o percentual de C derivado da vegetação original ( $fC_{dvn}$ ) em cada intervalo de profundidade, o pode ser escrito da seguinte forma:

$$fC_{dvn} = (\delta - \delta_B) / (\delta_{VN} - \delta_B) \quad \text{Equação 4}$$

Para o tratamento de rotação, a proporção de C do solo derivada da vegetação nativa original e dos resíduos culturais (em que ocorre a mistura de plantas  $C_3$  e  $C_4$ ), foi utilizado o valor de  $^{13}\text{C}$  determinado para vegetação nativa original. Para o valor de  $^{13}\text{C}$  dos resíduos, foi considerado aquele obtido na interseção da reta de regressão, para a rotação, com o eixo Y. Também foi calculado o percentual de C derivado da vegetação nativa ( $fC_{dvn}$ ) em cada intervalo de profundidade.

Uma segunda técnica utilizada foi baseada na hipótese de CADISCH & GILLER (1996), onde se assume que a taxa de decomposição do C derivado da vegetação nativa original do solo não é afetada pelos resíduos das culturas. Adaptando esse modelo para o presente estudo, para cada intervalo de profundidade, o C total derivado de todos os resíduos das culturas ( $C_{res}$ ) e da

vegetação nativa original ( $C_{VN}$ ) pode ser calculado subtraindo-se o C total derivado da vegetação nativa, obtido na sucessão ( $C_{VNS}$ ), conforme a equação a seguir:

$$C_{resR} = C_R - C_{VNS} \quad \text{Equação 5}$$

Onde  $C_{resR}$  é o C total derivado dos resíduos das culturas da Rotação ( $C_3 + C_4$ ) e  $C_R$  é o C total no respectivo intervalo de profundidade.

Para comparar as estimativas do C total derivado dos resíduos culturais ( $C_{res}$ ) e o C total derivado da vegetação nativa original ( $C_{VN}$ ), os valores de abundância de  $^{13}C$  dos resíduos, que na primeira técnica foram obtidos das regressões de BALESIDENT et al. (1990), também podem ser calculados por um balanço de massa isotópico, que para a rotação 2 será:

$$(C_{resR} d_{resR}) + (C_{NV} d_{NV}) = C_R d_R \quad \text{Equação 6}$$

## Análise estatística

As análises estatísticas foram feitas com o programa MSTAT-C (Michigan State University, EUA) para análise de variância e determinação dos efeitos das variáveis principais (delineamento em parcelas subdivididas com manejo na parcela principal e rotação de cultura na subparcela) sobre os diferentes parâmetros avaliados. Os dados foram submetidos à análise de variância paramétrica univariada, pelo teste F, cujos efeitos significativos foram estudados pelo teste de comparação de médias LSD Student ( $P < 0,05$ ).

Para avaliar se os efeitos do manejo do solo foram estatisticamente significativos no acúmulo de C e N em cada rotação de cultura, foi necessário comparar as médias das subparcelas em cada parcela principal. Para isto foi utilizado o procedimento descrito por LITTLE & JACKSON-HILLS (1978): o cálculo da menor diferença significativa entre as médias (LSD, Student) foi obtido pela seguinte equação;

$$LSD_{0,05} = t_{ab} \sqrt{2 \cdot [(b-1)Ea + Eb] / rb} \quad \text{Equação 7}$$

No entanto a avaliação destes tratamentos até 100 cm de profundidade foi importante para determinar o efeito de longo prazo das diferentes composições de culturas sob diferentes sistemas de manejo do solo.

Tabela 8. Estoque de C e N em diferentes intervalos de profundidade nas duas sequência de culturas sob plantio direto (PD) e preparo convencional (PC).

Rotação	Estoque de C (Mg.ha <sup>-1</sup> )			Estoque de N (Mg.ha <sup>-1</sup> )		
	PD	PC	Média	PD	PC	Média
Intervalo de profundidade: 0-30 cm						
R1	72,5 b	76,6 a	74,6 B	5,3 b	5,7 a	5,5 B
R2	81,1 a	77,5 a	79,3 A	6,2 a	5,9 a	6,0 A
Média	76,8 a	77,1 a		5,8 a	5,8 a	
Coeficiente de variação (%)		3,32		3,06		
Intervalo de profundidade: 0-100 cm						
R1	155,0 a	158,8 a	156,9 B	11,1 a	11,5 a	11,3 B
R2	172,3 a	163,5 b	167,9 A	12,8 a	12,2 b	12,5 A
Média	163,6 a	161,2a		12,0 a	11,8 a	
Coeficiente de variação (%)		2,07		1,68		
Intervalo de profundidade: 30-80 cm						
R1	84,4 a	86,1 a	85,3 B	5,9 a	6,0 a	5,9 B
R2	95,6 a	89,5 b	92,5 A	7,0 a	6,5 b	6,8 A
Média	90,0 a	87,8 a		6,4 a	6,3 a	
Coef. variação (%)		2,42		2,69		

<sup>1</sup>Médias na mesma linha seguidas da mesma letra minúscula não são significativamente diferentes entre si pelo teste LSD de Student com  $P < 0,05$ .

<sup>2</sup>Médias na mesma coluna seguidas da mesma letra maiúscula não são significativamente diferentes entre si pelo teste LSD de Student com  $P < 0,05$ .

Os resultados aqui encontrados foram semelhantes aos encontrados por SISTI et al. (2004), onde a sucessão trigo-soja também não apresentou diferenças no acúmulo de C e N no perfil do solo entre os tratamentos de preparo do solo em estudo. Em outros estudos realizados na região Sul do Brasil, as rotações que apresentavam pouca frequência ou ausência de leguminosas como adubo verde, também apresentaram menores estoques de C e N (BAYER et al., 2000; LOVATO et al., 2004; DIEKOW et al., 2005).

## **Estoques de Carbono e Nitrogênio no solo sob diferentes tratamentos de preparo e rotação de culturas**

Após 17 anos desde o início do experimento, a comparação de todos os tratamentos sob a mesma base de massa do solo resultou em diferença nos estoques de C e N médios observados entre a sucessão e a rotação de culturas, o que ocorreu em todos os intervalos de profundidade do solo (Tabela 8). Na camada de 0-30 cm, a média dos estoques de C e N observados na rotação foi 4,7 Mg C ha<sup>-1</sup> e 0,5 Mg N ha<sup>-1</sup> acima daquela observada na sucessão. Grande parte dessa diferença deveu-se ao estoque de C (81,1 Mg ha<sup>-1</sup>) e N (6,2 Mg ha<sup>-1</sup>) observados em plantio direto na área de rotação. Em PD a diferença entre a sucessão e a rotação de culturas foi de 8,6 Mg C ha<sup>-1</sup> e 0,9 Mg N ha<sup>-1</sup>. Ainda, na camada de 0-30 cm, o tratamento sob plantio direto na sucessão apresentou estoques de C e N significativamente menores que aqueles observados em preparo convencional. Na área de rotação, embora o uso do PD tenha proporcionado os maiores estoques de C e N, com 3,6 Mg C ha<sup>-1</sup> e 0,3 Mg N ha<sup>-1</sup> a mais do que o estoque observado em PC, estas diferenças não foram significativas até 30 cm de profundidade.

No entanto quando os estoques de C e N na profundidade de 0-100 cm são comparados, a rotação sob PD apresentou estoques de C e N significativamente superiores aos observados quando sob PC (8,8 Mg C ha<sup>-1</sup> e 0,6 Mg N ha<sup>-1</sup>). Os menores estoques de C e N foram encontrados na sucessão, que foram de 155 e 158,8 Mg C ha<sup>-1</sup> e 11,1 e 11,5 Mg N ha<sup>-1</sup> sob PD e PC, respectivamente.

Na sucessão, os estoques de C e N na camada de 30-80 cm confirmaram as observações realizadas no intervalo de 0-30 e 0-100. Já na rotação, os estoques destes elementos neste intervalo de profundidade refletiram o comportamento observado anteriormente na distribuição dos teores de C e N no perfil do solo, principalmente sob PD.

Estes resultados indicam que apenas a ausência de movimentação do solo (PD) não aumentou o potencial de acúmulo de C e N na camada superficial do solo, principalmente na sucessão (trigo/soja).

Onde  $b$  é o número de subparcelas dos tratamentos,  $r$  o número de repetições,  $E_a$  e  $E_b$  são o quadrado da média dos erros das subparcelas e parcela principal, respectivamente, e  $t_{ab}$  o valor  $t$  para parcela principal e subparcela. Para analisar este desdobramento foi utilizado o sistema SISVAR, desenvolvido na Universidade Federal de Lavras (UFV), Lavras, Minas Gerais.

## **Resultados e Discussão**

---

### **Fertilidade e densidade do solo na área sob vegetação nativa e sob os tratamentos de manejo do solo e rotação de culturas**

Os níveis de fertilidade do solo da área controle foram em geral inferiores aos da área cultivada. Os teores de Mg e K foram similares entre as diferentes áreas, porém o teor de P foi menor na área controle. Embora seja uma área onde não foi realizado um manejo específico de calagem e adubação, os valores observados de pH na área controle ficaram próximos daqueles observados nas áreas cultivadas (Tabela 6).

Os tratamentos em PD apresentam teores de P mais elevados na camada de 0-10 cm do solo. Essa maior concentração de P em superfície é típica do sistema PD, tendo sido observada desde os primeiros estudos realizados neste sistema de preparo de solo (MUZILLI 1985; SIDIRAS & PAVAN, 1985), sendo decorrente da ausência de movimentação do solo, aliada a aplicação de fertilizantes e a manutenção da palha em superfície (WIETHÖLTER et al., 1997).

Os resultados também demonstram diferenças nos teores de P do solo em função dos sistemas de culturas. Na Tabela 4, onde se encontram as quantidades totais de NPK adicionados nas adubações, é possível observar que na sucessão foram adicionadas quantidades totais de P e K maiores que na rotação, no entanto, esta última apresentou, na camada de 0-10 cm, maiores teores de P e K disponíveis.

Quanto aos resultados de densidade do solo, as áreas sob cultivo apresentaram um maior adensamento do solo até 20 cm de profundidade em relação à área controle (Tabela 7).

Este maior adensamento da camada superficial do solo em áreas agrícolas é decorrente do rearranjo que as partículas do solo adquirem após as intervenções mecânicas realizadas no decorrer dos anos. As práticas agrícolas, como a movimentação do solo e o tráfego de máquinas, promovem uma modificação na estrutura do solo em relação à condição original, principalmente na distribuição de agregados (CASTRO FILHO et al., 1998) e porosidade do solo (TORRES & SARAIVA, 1999). Nos dois sistemas de preparo do solo, os maiores valores na densidade do solo ocorreram na camada de 10-20 cm de profundidade ( $\sim 1,4 \text{ g/cm}^3$ ). Estes resultados, obtidos após a colheita das culturas de verão, demonstram que mesmo quando é realizado o revolvimento para as culturas de inverno, as partículas do solo tendem a estabelecer uma acomodação mais adensada, semelhante àquela que é observada em PD. CASSOL & ANGHINONI (1995) em um podzólico vermelho escuro no RS, também não encontraram diferenças significativas na densidade do solo entre o plantio direto e preparo convencional.

O adensamento das partículas do solo, mesmo quando é realizado o revolvimento do solo, parece estar relacionado a textura argilosa da área experimental. Os resultados observados encontram-se dentro das amplitudes de variação da densidade do solo para solos argilosos, que variam desde  $1,00 \text{ g cm}^{-3}$  sob condições naturais, até  $1,45 \text{ g cm}^{-3}$  sob condições agrícolas (TORRES & SARAIVA, 1999).

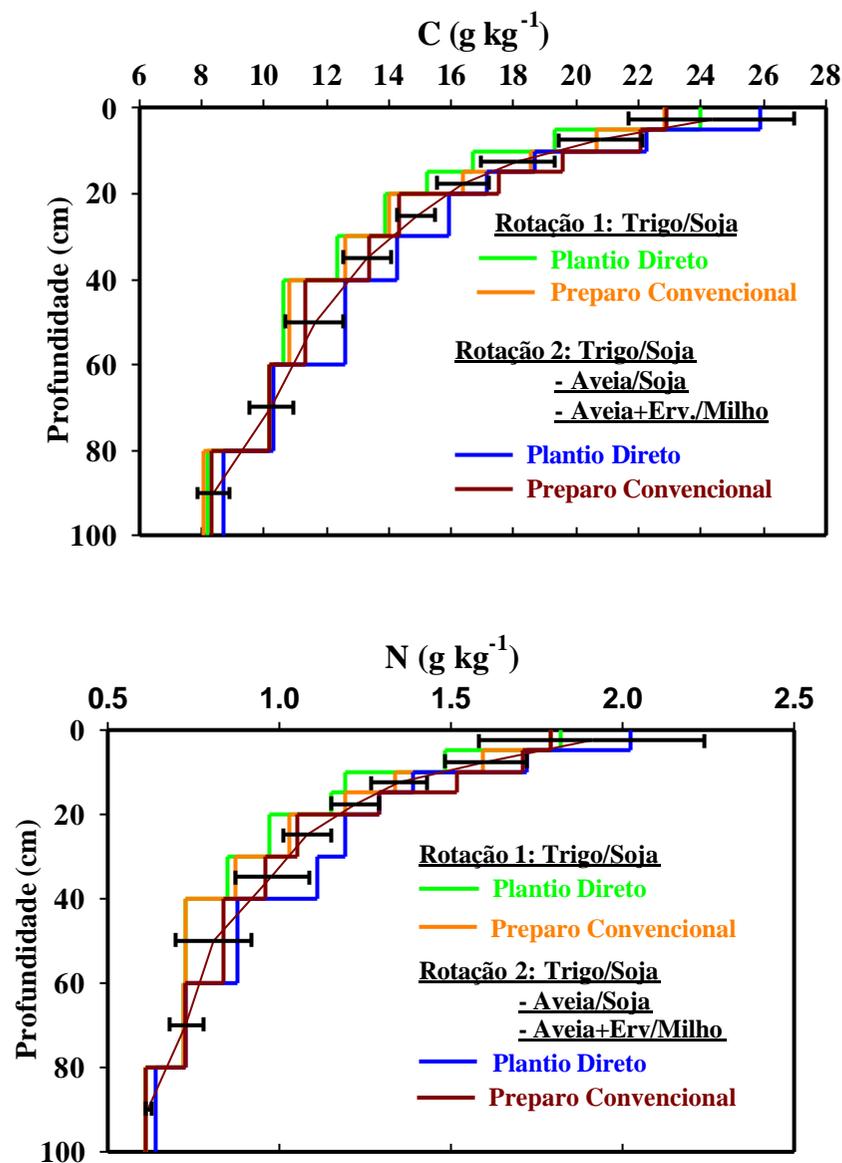


Figura 2. Concentração de carbono e nitrogênio total ( $\text{g kg}^{-1}$ ) no perfil do solo sob os tratamentos de preparo do solo e sequência de culturas.

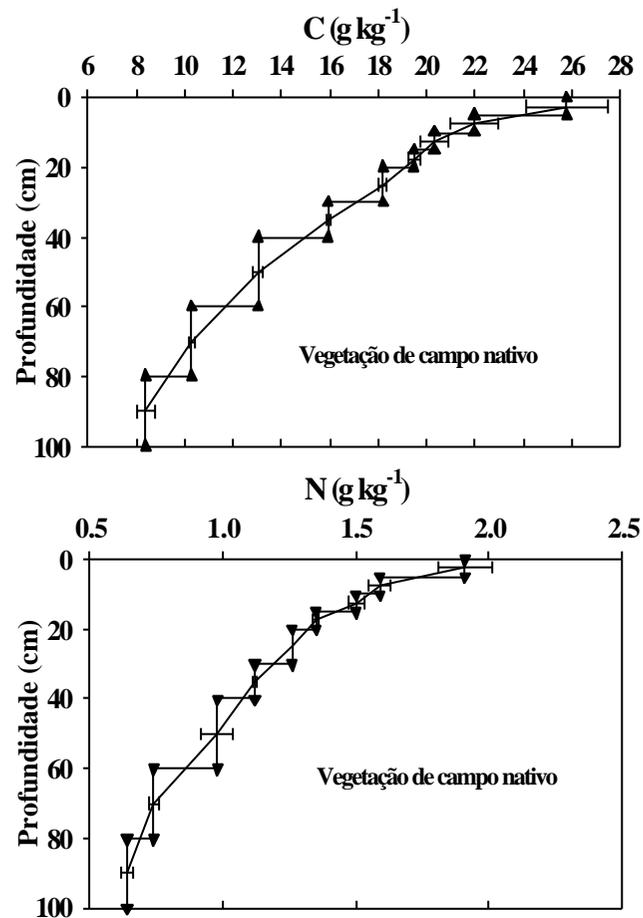


Figura 1. Concentração de carbono e nitrogênio total ( $g\ kg^{-1}$ ) no perfil do solo da área controle (vegetação de campo nativo).

Tabela 6: Atributos químicos do solo na área controle e nos diferentes sistemas de culturas após 17 anos em plantio direto e preparo convencional do solo.

Sistema de Culturas	Prof (cm)	pH (H <sub>2</sub> O)	Al ----- $cmol_c\ dm^{-3}$ -----	Ca ----- $cmol_c\ dm^{-3}$ -----	Mg ----- $cmol_c\ dm^{-3}$ -----	K ----- $mg\ dm^{-3}$ -----	P ----- $mg\ dm^{-3}$ -----
<b>Sucessão Trigo/Soja</b>							
PD	0-10	5,5	0,1	4,5	2,5	180	24
	10-20	5,5	0,3	4	2,2	125	9
	20-30	5,6	0,1	3,5	2	47	3
	30-40	5,5	0,5	2,8	2,1	34	1
PC	0-10	5,4	0,3	4,2	2,8	185	19
	10-20	5,4	0,5	3,8	2,4	59	7
	20-30	5,4	0,7	2,8	1,7	23	2
	30-40	5,4	1	2,5	1,5	17	1
<b>Rotação Aveia +Erv/ Milho - Trigo/Soja - Aveia/Soja</b>							
PD	0-10	5,3	0,4	4,3	2,8	235	42
	10-20	5,4	0,5	4,3	2,5	120	8
	20-30	5,2	1	3	1,9	51	3
	30-40	5,2	1	3	1,2	39	2
PC	0-10	5,4	0,2	4,5	2,6	225	29
	10-20	5,5	0,3	4,3	2,4	70	11
	20-30	5,5	0,4	3,2	1,9	21	4
	30-40	5,4	0,5	3,6	1,9	20	2
<b>Área controle (vegetação espontânea)</b>							
	0-10	5,2	1,6	1,9	1,8	245	3
	10-20	5	1,5	1,1	1,5	76	1
	20-30	5,1	1,2	2,1	1,8	47	0
	30-40	5,1	1,2	1,1	1,5	33	0

Os valores representam a média de três repetições.

Tabela 7. Densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ) no perfil (0-100 cm) nas áreas cultivadas e na área controle.

profundidade (cm)	Sucessão- T/S		Rot. - E+A/M - T/S - A/S		Área controle
	PD*	PC	PD	PC	
	$\text{g cm}^{-3}$				
0-5	1,39a	1,35a	1,34a	1,34a	1,29b
5-10	1,40a	1,39a	1,36a	1,35a	1,26b
10-15	1,34ab	1,44a	1,37ab	1,35ab	1,24b
15-20	1,30ab	1,41a	1,33ab	1,32ab	1,23b
20-30	1,28ns	1,30ns	1,29ns	1,30ns	1,22ns
30-40	1,22ns	1,22ns	1,20ns	1,23ns	1,20ns
40-60	1,17ns	1,17ns	1,18ns	1,19ns	1,19ns
60-80	1,11ns	1,12ns	1,13ns	1,13ns	1,15ns
80-100	1,05ns	1,08ns	1,05ns	1,08ns	1,03ns

Os valores representam a média de 3 repetições por tratamento.

\*Médias na mesma linha seguida pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste LSD de Student ( $P < 0,05$ ).

### Teores de carbono orgânico total e nitrogênio total do solo

No perfil de solo da área controle e nas cultivadas, os teores de carbono orgânico total (C) e nitrogênio total (N) apresentaram um decréscimo em semelhantes proporções nas diferentes camadas de profundidade do solo (Figura 1 e Figura 2). Os teores de C e N observados na camada de 0-20 cm de profundidade da área controle variaram entre 25 e 19,5  $\text{g kg}^{-1}$  de C e 1,9 e 1,4  $\text{g kg}^{-1}$ . Estes teores ficaram próximos àqueles observados nos tratamentos. Nas camadas de solo entre 20 a 60 cm de profundidade, os teores de C e N foram maiores sob essa vegetação, principalmente em relação à sucessão. Esse resultado já era esperado pela ausência de revolvimento do solo e pela constante manutenção de cobertura vegetal, o que contribuiu para a manutenção da matéria orgânica do solo.

Os resultados de teores de carbono orgânico total e nitrogênio total na camada de 0 a 10 cm nos tratamentos de manejo do solo e rotação de culturas demonstram que mesmo após vários anos da implantação do sistema plantio direto, não ocorreu acréscimos nos teores de C e N em relação ao preparo convencional.

Em outros trabalhos a diferença entre os sistemas de preparo do solo nos teores de C e N, ou de matéria orgânica, na camada de 0-5 cm do perfil do solo foi observada logo nos primeiros anos da instalação do PD (MUZILLI 1985; SIDIRAS & PAVAN 1985), permanecendo restrita a esta profundidade ou chegando até 10 cm, mesmo após vários anos da implantação do PD (BAYER et al., 2000). Ainda, com relação aos resultados da camada superficial do solo (0-20 cm de profundidade), na camada de 10-15 cm de profundidade os teores de C e N na rotação foram maiores no PC.

Em estudos de longo prazo é importante a avaliação desses parâmetros em camadas mais profundas do solo, como foi demonstrado em vários estudos (SISTI et al., 2004, DIEKOW et al., 2005).

No presente estudo a avaliação do perfil do solo abaixo de 30 cm de profundidade produziu resultados que expressaram significativas diferenças nos teores de C e N entre os tratamentos de rotação de culturas e manejo do solo (PD e PC).

Em relação aos demais tratamentos, observou-se que sob PD, na área de rotação, foram observados os maiores teores de C entre 20-60 cm, e de N, entre 20-40 cm de profundidade.

Na área de rotação, com o cultivo de trigo a cada dois anos, a introdução de uma leguminosa como adubo verde antecedendo o milho favoreceu a manutenção dos teores de C e N, principalmente em PD. SISTI et al. (2004) também observaram sob PD a ocorrência da manutenção de teores de C e N mais elevados em profundidade no solo sob sistemas de rotação de culturas que incluíram uma leguminosa como adubo verde.