

# INFLUÊNCIA DE ROTAÇÕES DE CULTURAS NO ESTOQUE DE CARBONO E NITROGÊNIO DO SOLO SOB PLANTIO DIRETO E PREPARO CONVENCIONAL

CLAUDIA POZZI JANTALIA<sup>1</sup>; HENRIQUE PEREIRA DOS SANTOS<sup>2</sup>; JOSÉ ELOIR DENARDIN<sup>2</sup>; RAINOLDO KOCHHANN<sup>2</sup>; BRUNO JOSÉ RODRIGUES ALVES<sup>3</sup>; SEGUNDO URQUIAGA<sup>3</sup> & ROBERT MICHAEL BODDEY<sup>3</sup>.

1- Departamento de Fitotecnia, Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), 23890-000, Seropédica, RJ. 2- Embrapa-Trigo, Caixa Postal 569, 99001-970, Passo Fundo, RS. 3- Embrapa Agrobiologia, Caixa Postal 74.505, 23890-000, Seropédica, RJ.

## RESUMO

O objetivo deste estudo foi determinar o efeito de diferentes rotações de culturas sob plantio direto e preparo convencional no estoque de carbono (C) e nitrogênio (N) do solo em dois experimentos de longa duração conduzidos em um Latossolo Vermelho, em Passo Fundo, Rio Grande do Sul. Foram retiradas amostras em diferentes intervalos de profundidade até 100 cm do perfil. Nestes intervalos, foram determinados a densidade e teores totais de C e N do solo. Os resultados demonstraram que: 1) No experimento 1, após 13 anos não houve diferença nos estoques de C e N nos dois sistemas de manejo do solo sob a rotação em seqüência de soja e trigo; 2) Nas rotações que incluíram a leguminosa ervilhaca como adubação verde de inverno, os estoques de C e N foram maiores em plantio direto do que no preparo convencional. As rotações Trigo/Soja-Ervilhaca/Milho e Trigo/Soja-Aveia/Soja-Ervilhaca/Milho do experimento 1 apresentaram em média um balanço positivo de 17 e 1,6 Mg ha<sup>-1</sup> nos estoques de C e N respectivamente, enquanto no experimento 2 estes valores foram de 18 e 1,1 Mg ha<sup>-1</sup>; 3) Em plantio direto, estas rotações de culturas também apresentaram teores de C e N significativamente maiores entre 30 e 85 cm de profundidade, em relação ao preparo convencional. Os resultados demonstraram que o maior acúmulo de C e N no solo sob plantio direto pode ser atribuído à maior disponibilidade de N no sistema, que promove maior ingresso de resíduos culturais. Este fato explica a importância da presença de uma leguminosa utilizada como adubação verde de inverno a cada dois ou três anos na rotação de culturas.

**Palavras-chave:** leguminosa, manejo do solo, matéria orgânica do solo, densidade do solo.

## ABSTRACT

### INFLUENCE OF CROP ROTATIONS IN SOIL CARBON AND NITROGEN STOCKS UNDER NO TILLAGE AND CONVENTIONAL TILLAGE

The objective of this study was to determine in two long term experiments the effect of different crop rotations under no tillage (NT) and conventional tillage (CT) on the organic C balance in a clay Oxisol soil type at Passo Fundo, Rio Grande do Sul. The soil samples were taken from 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-30, 30-40, 40-55, 55-70, 70-85 and 85-100 cm depth, and analysed for bulk density, C and N content. The results showed that: 1) In experiment 1, after 13 years there was no difference in soil C stock between tillage treatments (0-100 cm depth) under a continuous sequence of wheat (winter) and soybean (summer); 2) In the rotations in which vetch (*Vicia villosa*), was planted as a winter green-manure crop, C and N stocks were found respectively to be approximately 17 and 1,6 Mg ha<sup>-1</sup> higher under NT than under CT in the experiment 1, and 18 and 1,1 Mg ha<sup>-1</sup> higher under NT than under CT in the experiment 2; 3) In these rotations, C and N stocks were significantly higher under NT, between 30 and 85 cm depth. The results found in these two independent experiments, suggested that the N<sub>2</sub> fixation input from the leguminous green manure (vetch) in the cropping system was the principal factor responsible for the observed C accumulation in the soil under zero tillage.

**Key words:** leguminous, soil tillage, soil organic matter, soil density.

## INTRODUÇÃO

Dentro das alternativas de manejo do solo no sistema produtivo de grãos brasileiro, o sistema plantio direto passou a ser adotado em maior escala pelos agricultores a partir do início da década de 90, visando reduzir os impactos negativos da movimentação do solo, tais como erosão e perda de matéria orgânica do solo. Ressalta-se que este sistema de manejo do solo é uma das práticas mais eficientes para conservação do solo (Mielniczuk *et al.*, 1996). Hoje a área sob plantio direto no Brasil atingiu 14 Mha, representando cerca de 25 % da área cultivada de grãos (Embrapa, 2002).

Estudos sobre o conteúdo de matéria orgânica do solo (MOS) em áreas sob diferentes sistemas de preparo do solo e diferentes rotações de culturas, tem demonstrado que os resultados positivos do plantio direto foram consistentes quando as rotações de culturas incluíam plantas de cobertura, especialmente leguminosas como adubo verde (Pillon, 2000; Bayer *et al.*, 2000).

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 (Miyasawa *et al.*, 1993; Calegari, 2000). A influência dos adubos verdes sobre a fertilidade do solo é atribuída principalmente à incorporação do nitrogênio derivado da fixação biológica de N principalmente quando são utilizadas leguminosas, aumentando a disponibilidade de N para as gramíneas que irão contribuir com maior quantidade de resíduos (Drinkwater *et al.*, 1998).

O objetivo deste estudo foi determinar o efeito de diferentes rotações de culturas sob plantio direto e preparo convencional no estoque de C e N do solo, em dois experimentos de longa duração conduzidos em um Latossolo Vermelho, em Passo Fundo, Rio Grande do Sul.

## MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi realizado com dois experimentos desenvolvidos na estação experimental da Embrapa Trigo, no município de Passo Fundo (28° 15' S, 52° 24' W, altitude de 684 m). O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico, 1 % areia grossa, 23 % areia fina, 13 % silte, 63 % argila.

O experimento 1 foi instalado em 1986 e foram avaliados dois tratamentos de manejo do solo e três rotações de culturas: PD- plantio direto; e PC-1: preparo convencional com arado de disco apenas na semeadura do plantio das culturas de inverno: R1) Trigo (*Triticum aestivum*) / soja (*Glycine max*) (T/S); R2) trigo /soja – ervilhaca (*Vicia villosa*)/milho (*Zea mays*) (T/S-E/M); R3) trigo/soja – aveia branca (*Avena sativa*)/soja – ervilhaca/milho (T/S-A/S-E/M). O delineamento experimental foi o de parcelas subdivididas (split plot)

de 10 x 4 m, com três repetições; os sistemas de manejo foram os tratamentos principais e as rotações os subtratamentos.

O experimento 2 teve início em Fevereiro de 1984. Foram avaliados dois sistemas de manejo do solo - PD: plantio direto; PC-2: preparo convencional do solo na semeadura do plantio das culturas de verão e inverno. A rotação de culturas foi a seguinte: entre o período de 1984 e 89, o sistema de rotação de culturas foi: linho (*Linum L.*) / soja (*Glycine max*) - aveia preta (*Avena strigosa*) / soja - cevada (*Hordeum vulgare*) / soja. A partir do inverno de 1989 o sistema de rotação passou a ser o seguinte: cevada / soja – ervilhaca (*Vicia villosa*) / milho (*Zea Mays*) – aveia preta / soja.

Nos dois experimentos, as aplicações de adubos e corretivos basearam-se nos resultados da análise química do solo e nas recomendações para cada cultura, e as parcelas experimentais foram colhidas com uma pequena colheitadeira, adaptada especialmente para colher pequenas áreas.

Em Maio de 1999 foram retiradas amostras do solo compostas, consistindo de 6 sub-amostras cada uma, nos seguintes intervalos de profundidade: 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-30, 30-40, 40-55, 55-70, 70-85 e 85-100 cm, de cada parcela experimental e de três áreas sob vegetação de floresta adjacente, distantes uma da outra por aproximadamente 30 m. Em cada sistema de manejo do solo dos experimentos, foi determinada a densidade do solo em cada intervalo de profundidade utilizando-se um cilindro com volume conhecido. O solo retirado destes cilindros foi pesado após permanecer na estufa a 110 °C por 72 h.

As amostras de solo foram secas ao ar, passadas em peneira de 2 mm, homogêneas e foram retiradas sub-amostras que foram moídas finamente (<0,15 mm) utilizando um moinho de bolas. O teor de N total foi determinado em alíquotas de 1,0 g de solo utilizando-se a digestão semi-micro Kjeldahl com aquecimento em bloco digestor de alumínio (36 amostras, 2 padrões e 2 brancos), seguida pela destilação em um aparelho Tecator Kjeltec modelo 3100. O teor de C total foi determinado em alíquotas de aproximadamente 150 mg utilizando-se um auto analisador de C - LECO modelo CHN 600.

Para corrigir a compactação do solo nas áreas agrícolas, induzida pelo cultivo e tráfego de máquinas agrícolas, o estoque total de C e N do solo foram estimados sob a mesma quantidade de solo presente até 100 cm de profundidade na floresta adjacente utilizando o procedimento recomendado originalmente por Vallis (1972). Com este procedimento assume-se que a compactação do solo por operações mecânicas foi mais significativa na camada superficial do perfil do solo e que os estoques de C e N do perfil amostrado são calculados descontando-se a quantidade extra de solo dos perfis sob tratamentos agrícolas da última camada avaliada (neste estudo, 85-100 cm).

Os resultados de teores e estoques de C e N do solo foram analisados comparando-se os tratamentos dentro

de cada experimento por procedimentos padrões de ANOVA, utilizando-se o pacote estatístico MSTAT-C (Michigan State University). No experimento 1 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 dos tratamentos em cada rotação de cultura (subparcelas) para os diferentes sistemas de manejo. Para isto foi utilizado o procedimento descrito por Little & Jackson-Hills (1978). Para analisar este desdobramento foi utilizado o sistema SISVAR, produzido na Universidade Federal de Lavras (UFV), Lavras, Minas Gerais.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Teores de carbono e nitrogênio total do solo

O solo sob floresta apresentou altos teores de C e N (37 g C e 3,1 g N.kg<sup>-1</sup> de solo) na camada de 0-5 cm. Na camada de 10-15 cm de profundidade houve um declínio alcançando aproximadamente a metade destes valores (Tabela 1 e 3).

Nos dois experimentos de rotação de culturas os resultados dos teores de C e N na camada superficial do solo indicam que, mesmo após vários anos da implantação do sistema plantio direto, o acréscimo nos teores de C e N em relação ao preparo convencional

ocorreram principalmente na camada superficial, de 0-5 cm, chegando a 10 cm de profundidade na rotação 3 (T/S-Ap/S-E/M) do experimento 1. Esta diferença entre os sistemas de preparo do solo nos teores de C e N, ou de matéria orgânica nesta camada do perfil do solo (0-5cm) é encontrada desde os primeiros trabalhos com plantio direto (PD) (Muzilli, 1983; Sidiras & Pavan, 1985) e permanecendo restrita a esta profundidade ou chegando até 10 cm, mesmo após vários anos da implantação do PD (Bayer & Mielniczuck, 1997; Bayer *et al.*, 2000). No experimento 1 o tratamento de sucessão de cultura trigo/soja sob PD não apresentou diferença nos teores de C e N, em relação aqueles encontrados no preparo convencional. Nas camadas entre 30-70 cm de profundidade houve diferenças nos teores de C e N entre os tratamentos de manejo do solo (PD e PC), em ambos experimentos. Deve-se destacar que estes experimentos tiveram quase a mesma duração, mas foram conduzidos de forma independente. A rotação do experimento 2 é semelhante ao tratamento rotação 3 (trigo/soja – aveia branca/soja - ervilhaca/milho) do experimento 1, exceto pela presença da cevada e aveia preta no lugar da cultura do trigo e aveia branca, respectivamente. Nestes dois estudos, o cultivo de trigo ou cevada cultivada a cada três anos, com a introdução de uma leguminosa como adubo verde antecedendo o milho favoreceu o sistema plantio direto por manter teores mais elevados dos dois elementos nas mesmas camadas do perfil do solo, em relação ao PC do solo.

**Tabela 1-** Concentração de carbono orgânico total (g C.kg<sup>-1</sup>) no perfil do solo sob floresta e sob tratamentos de manejo do solo e rotação de culturas, no experimento 1.

Profundidade (cm)	Floresta	Plantio Direto			P
		R1	R2	R3	
					g kg <sup>-1</sup>
0-5	36,8 a	23,5 b	24,8 b	29,4 ab	
5-10	23,9 a	18,1 b	18,7 b	22,5 a	
10-15	18,7 ns	18,7 ns	18,7 ns	18,1 ns	18
15-20	17,7 ab	16,3 b	17,5 b	16,8 b	
20-30	16,2 ns	15,4 ns	15,3 ns	16,0 ns	10
30-40	13,5 b	14,7 ab	16,0 a	14,7 ab	14
40-55	12,4 b	13,6 ab	14,3 a	14,2 ab	13
55-70	12,0 ab	12,1 ab	12,9 a	12,5 a	11
70-85	10,8 ns	10,6 ns	11,3 ns	10,7 ns	10
85-100	9,8 ns	9,5 ns	9,9 ns	9,7 ns	9

Em cada camada de solo, os valores seguidos pela mesma letra não são significativamente diferentes (teste de Tukey, p<0,05). ns- indica que não houve diferença significativa. R1: trigo/soja; R2: trigo/soja-ervilhaca/milho; R3: trigo/soja-aveia branca/soja-ervilhaca/milho.

**Tabela 2-** Concentração de nitrogênio total (g N.kg<sup>-1</sup>) no perfil do solo sob floresta e sob tratamentos de manejo do solo e rotação de culturas, no experimento 1.

Profundidade (cm)	Floresta	Plantio Direto			P
		R1	R2	R3	
				g kg <sup>-1</sup>	
0-5	3,08 a	1,91 b	2,09 c	2,45 b	1,4
5-10	1,91 a	1,52 b	1,56 ab	2,14 a	1,4
10-15	1,53 b	1,32 b	1,40 b	1,66 a	1,4
15-20	1,38 ns	1,3 ns	1,39 ns	1,42 ns	1,3
20-30	1,35 ab	1,27 ab	1,31 ab	1,40 a	1,2
30-40	1,19 ab	1,16 ab	1,28 a	1,19 ab	1,1
40-55	1,01 b	1,08 ab	1,17 a	1,18 a	1,0
55-70	0,99 ab	1,01 ab	1,09 a	1,01 a	0,9
70-85	0,93 ns	0,91 ns	1,02 ns	0,86 ns	0,9
85-100	0,88 ns	0,81 ns	0,88 ns	0,87 ns	0,8

Em cada camada de solo, os valores seguidos pela mesma letra não são significativamente diferentes (teste de Tukey, p<0,05). ns- indica que não houve diferença significativa. R1: trigo/soja; R2: trigo/soja-ervilhaca/milho; R3: trigo/soja-aveia branca/soja-ervilhaca/milho.

**Tabela 3-** Concentração de carbono e nitrogênio total (g.kg<sup>-1</sup>) no perfil do solo sob floresta e nos tratamentos de manejo do solo, na rotação cevada/soja-ervilhaca/milho-aveia preta/soja - experimento 2.

Em cada camada de solo, os valores seguidos pela mesma letra não são significativamente diferentes (teste de Tukey, p<0,05). ns- indica que não houve diferença significativa.

### Estoque de carbono e nitrogênio no solo.

Quando os estoques de C e N de todo o perfil do solo (0~100cm de profundidade) dos tratamentos agrícolas são comparados sob a mesma massa de solo contida no perfil da floresta nativa, e possível avaliar os efeitos após vários anos dos dois sistemas de manejo do solo nas rotações de culturas estudadas nos dois experimentos (Figura 1).

No experimento 1, na rotação R1 os estoques de C e N não foram diferentes nos dois sistemas de manejo do solo. Nas rotações R2 e R3, a diversificação de culturas acarretou efeitos diferenciados no estoque de C e N acumulados pelos dois tratamentos de preparo do solo em estudo (PD e PC). Sob plantio direto o estoque de C e N foram 17 e 1,2, e 16 e 2 Mg ha<sup>-1</sup> maiores nas rotações R2 e R3 respectivamente, em relação aos estoques observados no preparo

convencional.

No experimento 2, a movimentação do solo para o preparo da área para os cultivos de verão e inverno, contribuiu para intensificar os processos de perda da matéria orgânica (mineralização, erosão), o que ficou demonstrado pela redução significativa no estoque de C no perfil do solo (149 Mg ha<sup>-1</sup>), quando comparado com a área sob vegetação natural (171 Mg ha<sup>-1</sup>) e sob PD (167 Mg ha<sup>-1</sup>). O estoque de N neste tratamento foi cerca de 1,4 Mg menor em relação a área sob floresta.

Em ambos experimentos, os sistemas de rotação de culturas com maior diversidade de espécies em relação à sucessão trigo-soja, promoveram estoques de C e N significativamente maiores em PD, enquanto em PC estes efeitos foram nulos. Estes sistemas de rotação envolveram espécies leguminosas e gramíneas utilizadas como adubação verde e cobertura morta.



e outros) incorporados em diferentes tipos de solo demonstram que a ervilhaca tem uma rápida mineralização, mesmo quando comparado a outras leguminosas (McKenney *et al.*, 1995; Kuo & Sainju, 1998).

Já em plantio direto, a intensidade da mineralização dos restos culturais fica restrita a camada mais superficial do solo. Nas camadas inferiores, o solo permanece intacto e toda a parte subterrânea das plantas será mineralizada por processos menos intensos, favorecendo assim os benefícios da rotação de plantas com diferentes qualidades de resíduos e tipos de sistema radicular. Este aspecto pode ajudar a compreender o acúmulo de C e N entre 30-70 cm obtidos sob PD nas rotações com leguminosas dos dois experimentos. Deve-se destacar que a qualidade do material vegetal depositado pelas leguminosas (parte aérea e raízes), tem grande importância neste processo de melhoria do solo, contribuindo para favorecer as condições ao desenvolvimento radicular, mesmo em subsuperfície. Miyazawa *et al.* (1993), avaliando o efeito de diferentes resíduos orgânicos, observou que o material vegetal de ervilhaca - comum foi uma das leguminosas que mais contribuiu na redução da acidez do solo. Esta leguminosa também teve destaque em outros trabalhos contribuindo para o aumento da matéria orgânica do solo (Gonçalves & Ceretta, 1999; Bayer *et al.*, 2000), e aumentado a disponibilidade de N para a cultura do milho (Amado *et al.*, 1999).

Os resultados destes dois experimentos independentes, indicam que a ausência de movimentação do solo (PD) e a rotação de culturas potencializaram o acúmulo de C e N do solo. Mais do que isto, reforçam o consenso que passou a existir entre os técnicos e produtores da região Sul, no meio da década de 80, de que a adoção da rotação de culturas, principalmente envolvendo espécies para adubação verde é uma condição necessária para o plantio direto apresentar os benefícios desejados ao sistema solo, em relação ao preparo convencional.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Embrapa Agrobiologia, a UFRRJ, ao CNPq, pelo apoio e suporte financeiro

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMADO, T. J. C.; MIELNICZUCK, J.; FERNANDES, S. B. V.; BAYER, C. Culturas de cobertura, acúmulo de nitrogênio total no solo e produtividade de milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.23, p. 679-686, 1999.
- ANDERSON, J. M.; FLANAGAN, P. Biological processes regulating organic matter dynamics in tropical soils. IN: COLEMAN, D.C.; OADES, M.; UEHARA, G. (eds). *Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems*. University of Hawaii Press, Honolulu, 1989. p. 233-255.
- BAYER, C. & MIELNICZUCK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de culturas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 21, p. 105-112, 1997.
- 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*, v. 54, p. 101-109, 2000.
- CALEGARI A. Coberturas verdes em sistemas intensivos de produção. IN: MERCANTE F.M (Ed) *Workshop: Nitrogênio na sustentabilidade de sistemas intensivos de produção agropecuária*. Ed., Dourados, MS, 2000. p. 141-153.
- CONSENTINO, D; CONSTANTINI, A; SEGAT, M; FERTIG, M. Relationships between organic carbon fractions and physical properties of Argentine soil under three tillage system. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.33, p. 981-986, 1998.
- DRINKWATER, L. E; WAGONER, P.; SARRANTONIO, M. Legume-based cropping systems have reduced carbon and nitrogen losses. *Nature*, v. 369, p. 262-265, 1998.
- EMBRAPA. Plataforma Plantio direto. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/plantiodireto/IntroducaoHistorico/sistemaPlantioDireto.htm>> Acesso em: dez. 2002.
- GONÇALVES, C. N. & CERETTA, C. A. Plantas de cobertura de solo antecedendo o milho e seu efeito sobre o carbono orgânico do solo, sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.23, p. 307-313, 1999.
- KUO, S. & SAINJU, U. M. Nitrogen mineralization and availability of mixed leguminous and non-leguminous cover crop residues in soil. *Biology and Fertility of Soils*, v. 26, p. 346-353, 1998.
- LADD, J. N; OADES, J. M; AMATO, M. Distribution and recovery of nitrogen from legume residues decomposing in soils sown to wheat in the field. *Soil Biology & Biochemistry*, v.13, p. 251-256, 1981.
- LITTLE, T.M.; JACKSON-HILLS, F. *Agricultural*

- Experimentation*. John Wiley, New York, NY, 1978. 200p.
- McKENNEY, D. J.; WANG, S. W.; DRURY, C. F.; FINDLAY, W. I. Denitrification, immobilization, and mineralization in nitrate limited and non limited residue-amended soil. *Soil Science Society American Journal*, v. 59, p. 118-124, 1995.
- MIELNICZUCK, 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*. Fundação ABC, Ponta Grossa, PR, 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*, v. 17, p. 411-416, 1993.
- MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.7, p. 95-102, 1983.
- PILLON, C. N. *Alterações no conteúdo e qualidade da matéria orgânica do solo induzidas por sistemas de cultura em plantio direto*. Tese de doutorado, UFRGS, 232p, 2000.
- SIDIRAS, N.; PAVAN, M. A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.9, p. 249-254, 1985.
- VALLIS, I. Soil nitrogen changes under continuously grazed legume-grass pastures in subtropical coastal Queensland. *Australian Journal Experimental Agricultural and Animal*, v.12, p. 495-501, 1972.