

## AGRÁRIA

Revista Brasileira de Ciências Agrárias

ISSN (on line): 1981-0997

v.6, n.3, p.401-408, jul.-set, 2011

Recife, PE, UFRPE. www.agraria.ufrpe.br

Protocolo 944 - 16/05/2010 \*Aprovado em 13/04/2011

DOI:10.5039/agraria.v6i3a944

Fábio Steiner<sup>1,3</sup>

Laércio A. Pivetta<sup>1,4</sup>

Gustavo Castoldi<sup>1,5</sup>

Mônica S. S. de M. Costa<sup>2</sup>

Luiz A. de M. Costa<sup>2</sup>

# Carbono orgânico e carbono residual do solo em sistema de plantio direto, submetido a diferentes manejos

## RESUMO

O carbono orgânico é um dos principais componentes da matéria orgânica do solo e o seu estoque é influenciado pelo sistema de manejo adotado. Este estudo teve como objetivo avaliar o efeito de dois sistemas de culturas, com e sem rotação de plantas de cobertura, associados a três fontes de adubação (mineral, orgânica e mineral+orgânica), no teor de carbono orgânico e carbono residual em um Latossolo Vermelho, em sistema de plantio direto. Foram coletadas amostras de solos nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m de profundidade, no primeiro, segundo e terceiro ano de experimento, instalado em 2006. A sequência de culturas no sistema em rotação com plantas de cobertura foi aveia + ervilhaca + nabo / milho / trigo / mucuna + brachiária + crotalária / milho / soja, e no sistema em sucessão foi trigo / milho / trigo / soja / milho / soja. As adubações orgânica e mineral+orgânica consistiram da aplicação de fertilizante orgânico isoladamente e em combinação com o fertilizante mineral. Os teores de C orgânico e C residual não foram afetados pelos diferentes sistemas de culturas. As adubações orgânica e mineral+orgânica promoveram aumentos nos teores de C orgânico e C residual do solo. O sistema em sucessão de culturas adubado com fertilizante mineral proporcionou maiores perdas de carbono do solo.

**Palavras-chave:** Manejo do solo, plantas de cobertura, matéria orgânica, adubação orgânica, estoque de carbono do solo.

## Soil organic and residual carbon under no-tillage system, submitted to different managements

## ABSTRACT

The organic carbon is a major component of the soil organic matter, and its stock is influenced by the type of management system used. This study aimed to evaluate the effect of two cropping systems, with and without cover crop rotation, associated to three fertilization sources (mineral, organic and mineral+organic) in the organic and residual carbon contents of an Oxisol, in no-tillage system. Soil samples were collected at 0.0-0.10, 0.10-0.20 and 0.20-0.40 m depth in the first, second and third years of the experiment, installed in 2006. The crops sequence in the rotation system with cover crops was oat + vetch + turnip / corn / wheat / mucuna + brachiaria + crotalaria/corn/soybean, and in the following system it was wheat / corn / wheat / soybean / corn / soybean. The organic and mineral+organic fertilizers consisted in the sole application of organic fertilizers and combined with mineral fertilizer. The organic and residual carbon contents were not affected by the different cropping systems. The organic and mineral+organic fertilizers promoted increases in the organic and residual carbon contents. The system of crop succession fertilized with mineral fertilizer resulted in higher losses of soil carbon.

**Key words:** Soil management, cover crops, organic matter, organic fertilization, soil carbon stocks.

<sup>1</sup> Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Faculdade de Ciências Agrônomicas, Rua José Barbosa de Barros, 1780, Fazenda Lageado, CEP 18610-337, Botucatu-SP, Brasil. Caixa Postal 237. Fone: (14) 3811-7161. Fax: (14) 3811-7211. E-mail: fsteiner@fca.unesp.br;

laerciopivetta@yahoo.com.br; castoldi@fca.unesp.br;

<sup>2</sup> Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola (PGEAGRI), Rua Universitária, 2069, Jardim. Universitário, CEP 85819-110, Cascavel-PR, Brasil. Fone: (45) 3220-3262. E-mail: Monica.Costa@unioeste.br; Imendo@ig.com.br

<sup>3</sup> Bolsista de Doutorado do CNPq

<sup>4</sup> Bolsista de Doutorado da CAPES

<sup>5</sup> Bolsista de Doutorado da FAPESP

## INTRODUÇÃO

A matéria orgânica do solo (MOS) pode ser alterada com maior ou menor intensidade, dependendo do sistema agrícola instalado, sendo um dos atributos mais sensíveis às transformações desencadeadas pelo manejo. A composição e as propriedades da MOS variam de acordo com o material orgânico original, com as condições de decomposição (biossíntese) e com o tempo considerado (Longo & Espíndola, 2000), evidenciando, principalmente, o efeito da cobertura vegetal no teor e na distribuição dos componentes orgânicos.

Conceição et al. (2005) mencionam que o carbono orgânico total (COT) e seu estoque têm sido utilizados como indicadores do efeito de sistemas de manejo na qualidade do solo. Porém, verifica-se comumente que esses atributos têm se mostrado poucos sensíveis às mudanças promovidas pelos sistemas de manejo, o que levou à utilização dos compartimentos do COT mais sensíveis ao manejo do solo, como o carbono lábil, que melhor indica a dinâmica do carbono num intervalo de tempo (Xavier et al., 2006).

O sistema de plantio direto é uma das mais efetivas práticas de conservação, contribuindo para a redução das perdas de solo e de carbono orgânico (Schick et al., 2000; Santos et al., 2007), principalmente, devido à manutenção dos resíduos vegetais na superfície do solo e à proteção física da matéria orgânica em agregados (Six et al., 2004). Porém, a eficiência deste sistema em manter o estoque de carbono orgânico do solo está relacionada ao manejo de culturas utilizado, sendo fundamental a associação de um sistema de rotação e sucessão de culturas diversificadas, que produza adequada quantidade de resíduos vegetais na superfície do solo durante todo o ano (Ceretta et al., 2002).

A região Oeste do Paraná caracteriza-se predominantemente por pequenas e médias propriedades rurais, nas quais os produtores têm suas atividades baseadas na produção de grãos, e na produção animal. Essa característica leva a região a produzir considerável quantidade de esterco animal (suíno, bovino e avícola), com potencial para produção de adubos orgânicos. A adubação orgânica, ou mesmo a associação desta com a adubação mineral, constituem alternativas economicamente viáveis para a maioria dos pequenos produtores, além de promoverem a melhoria das características químicas, físicas e biológicas do solo.

A adoção do sistema de plantio direto trouxe alterações importantes no manejo da adubação orgânica, principalmente devido a utilização de esterco. Estes, que antes eram aplicados sobre a superfície e imediatamente incorporados ao solo, hoje são aplicados sobre a camada de palha existente no plantio direto e deixados na superfície do solo. Segundo Scherer & Nesi (2009), essa condição impede ou retarda o contato do adubo com o solo e microorganismos, com possíveis reflexos na mineralização dos compostos orgânicos, e na dinâmica dos nutrientes e estoque de carbono.

Até o momento, poucos foram os estudos realizados no Estado do Paraná que abordaram o efeito de culturas de cobertura, associadas à adubação orgânica, no estoque de carbono orgânico. Trabalhando em Nitossolo Vermelho em Chapecó (SC), Andreola et al. (2000) verificaram que a

utilização de plantas de cobertura de inverno [*Avena stringosa* (aveia preta) + *Raphanus sativus* (nabo forrageiro)], quando associada à adubação orgânica, promoveu aumento nos teores de carbono orgânico do solo, enquanto os adubos organomineral e mineral mostraram tendência à redução.

Este estudo teve como objetivo avaliar o efeito de dois sistemas de culturas, com e sem rotação de plantas de cobertura, associados a três fontes de nutrientes (mineral, orgânica e mineral + orgânica) nos teores de carbono orgânico e carbono residual em um Latossolo Vermelho, em sistema de plantio direto.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Estação Experimental Agrônoma da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, em Marechal Cândido Rondon - PR (latitude: 24° 31' S, longitude: 54° 01' W e altitude: 420 m), no período de maio de 2006 a março de 2009. O clima da região, segundo classificação de Köppen, é do tipo Cfa, subtropical úmido mesotérmico, com verões quentes, invernos com geadas pouco frequentes, sem estação seca definida, com precipitação e temperatura médias anuais de 1.500 mm e 21,4°C, respectivamente. Os dados climáticos durante a realização do experimento encontram-se na Figura 1.

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Eutroférrico (LVef), profundo, bem drenado e de textura muito argilosa (630 g kg<sup>-1</sup> de argila, 260 g kg<sup>-1</sup> de silte e 110 g kg<sup>-1</sup> de areia). Antes do início do experimento, a área foi cultivada por seis anos, com trigo (*Triticum aestivum*) no inverno e soja (*Glycine max*) no verão, em sistema de plantio direto. Antes da implantação do experimento foi feita a coleta das amostras de solo nas profundidades de 0,0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m em todas as parcelas. Os resultados da análise

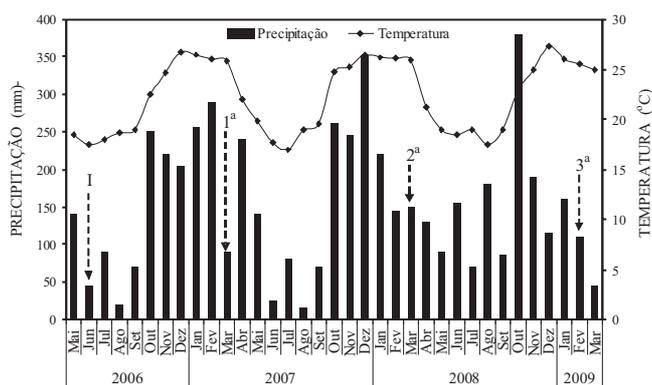


Figura 1. Precipitação mensal (mm) e temperatura média mensal (°C) durante o período do experimento. I – instalação do experimento, 1ª – primeira amostragem de solo, 2ª – segunda amostragem de solo, 3ª – terceira amostragem de solo.

Figure 1. Total monthly rainfall (mm) and monthly average temperature (°C) during the experiment. I – implementation of the experiment, 1ª – first soil sampling, 2ª – second soil sampling, 3ª – third soil sampling.

química do solo não evidenciaram diferenças significativas entre as parcelas para as características químicas do solo, indicando homogeneidade da área experimental. Portanto, são apresentados apenas os resultados médios (Tabela 1).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso em esquema fatorial 2 x 3 com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por dois sistemas de culturas (com e sem rotação de plantas de cobertura) e três fontes de nutrientes (mineral, orgânica e mineral+orgânica), totalizando 24 parcelas experimentais. Cada parcela experimental tinha 12,0 m de comprimento e 7,4 m de largura (88,8 m<sup>2</sup>).

Ambos os sistemas de culturas foram instalados em junho de 2006 a partir da semeadura das culturas de inverno, compostas pelo consórcio de aveia preta + ervilhaca peluda + nabo forrageiro (sistema em rotação com plantas de cobertura) e trigo (sistema de sucessão de culturas). O período de cada cultivo e a sequência de culturas empregadas nos experimentos são apresentadas na Tabela 2. Todos os cultivos foram conduzidos de acordo com as recomendações técnicas de cada cultura.

A fitomassa seca dos consórcios de culturas de cobertura deixada na superfície do solo por ocasião do manejo foi de 5.184 ± 514 kg ha<sup>-1</sup> para o consórcio entre aveia+ervilhaca+nabo, e de 10.296 ± 1.030 kg ha<sup>-1</sup> para o consórcio entre mucuna+brachiária+crotalária. Ambas determinadas a partir de três amostras coletadas aleatoriamente com gabaritos de 0,50 x 0,50 m, e secas em estufa de circulação forçada de ar a 60°C ± 2°C por 72 horas.

As adubações das culturas destinadas à produção de grãos (trigo, milho e soja) foram realizadas com a aplicação de fertilizantes minerais e orgânicos de forma isolada e combinada, obtendo-se assim as três fontes de adubação: mineral, orgânica e mineral+orgânica, respectivamente. A quantidade de fertilizante orgânico aplicado na adubação orgânica foi baseada no nutriente que primeiro suprisse a demanda da cultura, segundo análise do fertilizante orgânico

e recomendação da cultura. A adubação organomineral foi realizada com a aplicação da dose do fertilizante orgânico e complementada com as necessidades dos demais nutrientes com fertilizantes minerais conforme recomendação. As quantidades e as fontes de fertilizantes empregadas em todo o período do experimento (3 anos) são apresentadas na Tabela 3. As culturas de cobertura utilizadas (aveia, ervilhaca, nabo forrageiro, mucuna, braquiária e crotalária) não receberam aplicação de fertilizantes.

Durante os três anos de condução do experimento, após as safras de verão de 2006/07, 2007/08 e 2008/09, foram coletadas amostras de solo, nas camadas de 0,0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m de profundidade. As amostras foram coletadas em três pontos por parcela, para formar uma amostra composta representativa do tratamento. Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, secas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras com malha de 2 mm para as análises químicas.

O teor de carbono orgânico do solo foi determinado pelo método Walkley-Black, conforme método descrito por Pavan et al. (1992). O carbono não completamente oxidado pelo método Walkley-Black (carbono residual - C-res) foi quantificado após a oxidação do carbono lábil com permanganato de potássio (KMnO<sub>4</sub>) (33 mmol L<sup>-1</sup>), como proposto por Blair et al. (1995) e modificado por Shang & Tiessen (1997).

O estoque de carbono orgânico (E<sub>CO</sub>) foi calculado através da seguinte equação:

$$E_{CO} = C \times D_s \times e \times 10$$

em que E<sub>CO</sub> = estoque de carbono orgânico (Mg ha<sup>-1</sup>); C = teor de carbono na camada (g kg<sup>-1</sup>); D<sub>s</sub> = densidade do solo na camada (kg dm<sup>-3</sup>); e = espessura da camada em análise (m). Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando significativos, as médias dos sistemas de culturas e das fontes de nutrientes foram comparadas pelo teste de Tukey (P ≤ 0,05).

**Tabela 1.** Características químicas e densidade do solo, nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m de profundidade

**Table 1.** Chemical analysis of the soil and soil density at 0.0-0.10, 0.10-0.20 and 0.20-0.40 m in depth

Profundidade (m)	pH	P mg dm <sup>-3</sup>	C-org. g kg <sup>-1</sup>	H + Al	Al <sup>3+</sup>	K <sup>+</sup> cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	CTC	V %	Ds kg dm <sup>-3</sup>
0,0-0,10	4,8	16,8	22,2	6,2	0,4	0,36	3,0	1,5	11,0	44	1,31
0,10-0,20	4,7	6,8	15,3	6,5	0,5	0,25	2,7	1,5	11,0	40	1,35
0,20-0,40	4,6	2,7	12,9	6,8	0,5	0,13	2,3	1,3	10,5	35	1,30

pH em CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>. P e K extraído por Mehlich-1. C-org.: carbono orgânico método Walkley - Black. Ds: densidade do solo (Embrapa, 1997)

**Tabela 2.** Período do cultivo e sequência de culturas (sucessão e rotação) utilizadas no experimento

**Table 2.** Crop period and crop sequences (succession and rotation) used in the experiment

Sistema de culturas	Período					
	Outono/inverno (2006)	Primavera/verão (2006/07)	Outono/inverno (2007)	Primavera/verão (2007/08)	Outono/inverno (2008)	Primavera/verão (2008/09)
Sucessão	Trigo	Milho	Trigo	Soja	Milho	Soja
Rotação	Aveia/ervilhaca/nabo	Milho	Trigo	Mucuna/braquiária/crotalária	Milho	Soja

Tabela 3. Fontes e doses de fertilizantes aplicados em cada um dos cultivos durante o experimento

Table 3. Sources and quantity of fertilizers applied in each of the crops during the experiment

Fonte	Cultura/ano					
	Trigo (2006)	Milho (2006/07)	Trigo (2007)	Soja (2007/08)	Milho (2008)	Soja (2008/09)
	----- Doses e fontes aplicadas -----					
Mineral <sup>(1)</sup>	50-20-30 kg ha <sup>-1</sup>	120-50-30 kg ha <sup>-1</sup>	50-10-30 kg ha <sup>-1</sup>	0-60-40 kg ha <sup>-1</sup>	120-60-60 kg ha <sup>-1</sup>	0-60-40 kg ha <sup>-1</sup>
Orgânica	25 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	38 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	2,0 Mg ha <sup>-1</sup>	4,5 Mg ha <sup>-1</sup> composto	5,8 Mg ha <sup>-1</sup>	4,5 Mg ha <sup>-1</sup> composto
	esterco de suíno <sup>(2)</sup>	esterco de suíno <sup>(3)</sup>	esterco de galinha <sup>(4)</sup>	de esterco bovino <sup>(5)</sup>	esterco de galinha <sup>(4)</sup>	de esterco bovino <sup>(5)</sup>
Mineral +	25 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	38 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	2,0 Mg ha <sup>-1</sup>	4,5 Mg ha <sup>-1</sup> composto	5,8 Mg ha <sup>-1</sup>	4,5 Mg ha <sup>-1</sup> composto
orgânica <sup>(1)</sup>	esterco de suíno <sup>(2)</sup>	esterco de suíno <sup>(3)</sup>	esterco de galinha <sup>(4)</sup>	de esterco bovino <sup>(5)</sup>	esterco de galinha <sup>(4)</sup>	de esterco bovino <sup>(5)</sup>
	+ 0-5-12 kg ha <sup>-1</sup>	+ 0-2-5 kg ha <sup>-1</sup>	+ 9-0-19 kg ha <sup>-1</sup>	+ 0-51-0 kg ha <sup>-1</sup>	+ 0-32-29 kg ha <sup>-1</sup>	+ 0-51-0 kg ha <sup>-1</sup>

<sup>1</sup> Doses correspondentes a N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O e aplicadas na forma de uréia, superfosfato triplo e cloreto de potássio, respectivamente

<sup>2</sup> 2,4% de matéria seca; 2,00 kg m<sup>-3</sup> de N; 0,60 kg m<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 0,72 kg m<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O

<sup>3</sup> 3,7% de matéria seca; 3,15 kg m<sup>-3</sup> de N; 1,26 kg m<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 0,66 kg m<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O

<sup>4</sup> 92% de matéria seca; 20,7 kg Mg<sup>-1</sup> de N; 5,0 kg Mg<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 5,5 kg Mg<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O

<sup>5</sup> 87% de matéria seca; 15,4 kg Mg<sup>-1</sup> de N; 2,0 kg Mg<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 8,9 kg Mg<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados não evidenciaram efeitos significativos da interação entre sistema de culturas versus fontes de nutrientes no teor de carbono do solo. Os teores de carbono orgânico (C-org) (Tabela 4) e carbono residual (C-res) (Tabela 5) foram afetados significativamente pelas fontes de nutrientes.

O C-org no solo apresentou-se com teores elevados (>16 g kg<sup>-1</sup>), sobretudo nas camadas superficiais do solo (Tabela 4). Em relação à distribuição em profundidade, o maior teor de C-org foi encontrado na camada de 0,00-0,10 m, e corrobora os resultados obtidos por D'Andréa et al. (2004), Pillon et al. (2007) e Pereira et al. (2010) em diferentes condições climáticas e solos brasileiros. Com a ausência de revolvimento do solo no sistema de plantio direto, aliada ao acúmulo de resíduos vegetais na superfície, ocorre maior acúmulo deste elemento na camada mais superficial do solo (Bayer, 2003).

O sistema de produção em rotação ou não com culturas de cobertura não influenciou significativamente o teor de C-org do solo (Tabela 4), nos três anos de avaliação. Estes resultados evidenciaram que apesar do grande acúmulo de material vegetal no sistema com rotação de plantas de cobertura (5.184 kg ha<sup>-1</sup> do consórcio entre aveia/ervilhaca/nabo e, 10.296 kg ha<sup>-1</sup> do consórcio entre mucuna/brachiária/crotalaria), o teor de C-org foi pouco modificado em curto prazo. Isso pode ser atribuído ao curto período de avaliação (três anos), para o qual é considerado ainda um período de adaptação e estabelecimento dos sistemas de culturas (Pillon et al., 2007), não sendo suficiente para que as diferenças entre os sistemas se acentuassem.

Além disso, o pequeno acúmulo de C-org no sistema de plantio direto do presente estudo pode ser atribuído à rápida mineralização dos resíduos vegetais em função das altas temperaturas e umidade. Maria & Castro (1993), estudando a influência de sistemas de preparo do solo, de sucessão e

de rotação de culturas em um Latossolo Roxo, em Campinas (SP), não observaram diferenças significativas nos teores médios de C-org na camada de 0,0-0,20 m, e atribuíram esse fato às condições climáticas da região, com verão quente e úmido e inverno seco, além do efeito da temperatura, condições estas que favorecem a rápida mineralização da matéria orgânica do solo.

Resultados diferentes foram evidenciados por Amado (2000) que, avaliando diferentes sistemas de culturas em plantio direto, verificou alterações significativas nos teores de C-org, na camada de 0,0-0,05 m. O referido autor, ainda, evidenciou que o plantio direto associado ao uso de culturas de cobertura demonstrou potencial para recuperar o teor de C-org do solo.

As fontes de nutrientes influenciaram significativamente o teor de C-org do solo no segundo e terceiro ano de avaliação (Tabela 4). A aplicação de fontes orgânicas, independentemente da complementação com fertilizante mineral, proporcionou incrementos significativos no teor de C-org do solo quando comparada à adubação mineral. De modo similar, Marchi et al. (2008) obtiveram aumentos no teor de C-org em um Cambissolo adubado com esterco de aves. O conteúdo de C-org do solo é determinado pelo balanço das entradas, como o aporte de resíduos vegetais e a aplicação de compostos orgânicos, e as saídas, por meio da oxidação e decomposição da matéria orgânica do solo (Leite et al., 2003).

Aumentos no conteúdo de C-org estão também relacionados a aumentos nos teores de nitrogênio (N) do solo, o que significa que, quando se objetiva a recuperação do estoque de carbono orgânico de um solo, a adição de N ao sistema é fundamental (Souza et al., 2009). Entre a utilização de fertilizantes nitrogenados minerais ou orgânicos, evidencia-se que o N adicionado na fonte orgânica é mais eficiente na promoção de maior acúmulo de C-org no solo.

A partir do segundo ano de condução do experimento, verificou-se que no tratamento em sucessão de culturas com adubação mineral, ocorreu diminuição no teor de C-org, na

**Tabela 4.** Carbono orgânico ( $\text{g kg}^{-1}$ ) do solo nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m de profundidade, em diferentes sistemas de culturas e fontes de nutrientes**Table 4.** Soil organic carbon ( $\text{g kg}^{-1}$ ) at 0.0-0.10, 0.10-0.20 and 0.20-0.40 m in depth in different cropping systems and nutrient sources

Profundidade(m)	Sistema de manejo <sup>(1)</sup>					
	Sucessão			Rotação		
	Mineral	Orgânica	Mineral+orgânica	Mineral	Orgânica	Mineral+orgânica
1º ano (Safrá 2006/07)						
0,0-0,10	22,6 aA	22,7 aA	22,5 aA	22,6 aA	22,6 aA	23,6 aA
0,10-0,20	18,2 bA	18,6 bA	19,3 bA	20,0 bA	19,4 bA	17,7 bA
0,20-0,40	14,0 cA	13,0 cA	13,0 cA	13,5 cA	13,1 cA	12,7 cA
CV (%)	15,5					
2º ano (Safrá 2007/08)						
0,0-0,10	21,4 aB	25,5 aA	25,3 aA	22,0 aB	25,2 aA	25,4 aA
0,10-0,20	16,0 bB	20,7 bA	20,1 bA	20,7 aB	22,1 aA	22,1 aA
0,20-0,40	15,1 bA	15,1 cA	16,2 cA	14,8 bA	15,2 bA	15,4 bA
CV (%)	13,3					
3º ano (Safrá 2008/09)						
0,0-0,10	20,7 aB	26,5 aA	25,9 aA	23,9 aB	26,2 aA	27,2 aA
0,10-0,20	19,6 aA	19,4 bA	19,4 bA	22,5 aB	24,2 aA	24,0 aA
0,20-0,40	14,4 bA	14,2 cA	14,4 cA	14,7 bB	14,8 bB	17,4 bA
CV (%)	12,7					

<sup>(1)</sup> Sucessão: trigo/milho/trigo/soja/milho/soja. Rotação: aveia+ervilhaca+nabo/milho/trigo/mucuna+brachiária+crotalária/milho/soja. Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

**Tabela 5.** Carbono orgânico residual ( $\text{g kg}^{-1}$ ) do solo nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m de profundidade, em diferentes sistemas de culturas e fontes de nutrientes**Table 5.** Soil residual organic carbon ( $\text{g kg}^{-1}$ ) at 0.0-0.10, 0.10-0.20 and 0.20-0.40 m in depth in different cropping systems and nutrient sources

Profundidade(m)	Sistema de manejo <sup>(1)</sup>					
	Sucessão			Rotação		
	Mineral	Orgânica	Mineral+orgânica	Mineral	Orgânica	Mineral+orgânica
1º ano (Safrá 2006/07)						
0,0-0,10	5,7 aA	5,9 aA	5,9 aA	5,6 aA	6,0 aA	5,9 aA
0,10-0,20	4,5 bA	4,6 bA	4,8 bA	4,6 bA	4,8 bA	4,4 bA
0,20-0,40	3,5 cA	3,2 cA	3,2 cA	3,4 cA	3,3 cA	3,2 cA
CV (%)	11,4					
2º ano (Safrá 2007/08)						
0,0-0,10	6,1 aB	6,4 aAB	6,6 aA	6,0 aB	6,3 aAB	6,6 aA
0,10-0,20	5,0 bB	5,2 bB	5,5 bA	5,2 bB	5,8 bA	5,7 bA
0,20-0,40	3,8 cB	3,8 cB	4,0 cA	4,7 bA	4,8 cA	4,5 cA
CV (%)	14,8					
3º ano (Safrá 2008/09)						
0,0-0,10	6,2 aB	6,6 aA	6,5 aA	6,2 aB	8,1 aA	7,9 aA
0,10-0,20	5,4 bB	5,6 bB	6,6 bA	5,6 bC	7,0 bA	6,3 bB
0,20-0,40	4,3 cB	5,3 bA	4,3 bB	3,7 cC	5,7 cA	4,9 cB
CV (%)	11,0					

<sup>(1)</sup> Sucessão: trigo/milho/trigo/soja/milho/soja. Rotação: aveia+ervilhaca+nabo/milho/trigo/mucuna+brachiária+crotalária/milho/soja. Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

camada 0,0-0,10 m, em comparação ao teor inicial obtido antes do experimento. O teor de C-org passou de 22,2 g kg<sup>-1</sup> (Tabela 1) para 21,4 g kg<sup>-1</sup> ao final do segundo ano, e para 20,7 g kg<sup>-1</sup> ao final do terceiro ano (Tabela 4), representando redução no teor de C-org na ordem de 3,6% e 6,8%, respectivamente, evidenciando que o teor de C-org do solo pode ser alterado com este sistema. Marchiori Jr. & Melo (2000) evidenciaram que três anos de cultivo sucessivo de milho em um Latossolo Roxo de Jaboticabal (SP) originário de mata nativa foram suficientes para reduzir o teor de C orgânico do solo.

Trabalhando em um Argissolo de ambiente subtropical, Lovato et al. (2004) constataram que no plantio convencional há a necessidade de uma adição anual de quase 20 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos vegetais (45% de C, m:m) para manter os estoques originais de carbono orgânico do solo. Por outro lado, em condições de plantio direto, essa adição foi de cerca de 10 Mg ha<sup>-1</sup>.

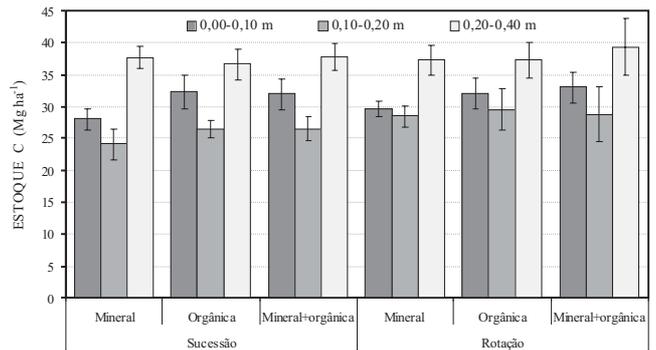
O carbono residual (C-res) (Tabela 5) apresentou comportamento semelhante ao carbono orgânico. O C-res é o que confere maior estabilidade à matéria orgânica do solo, possibilitando a formação de agregados, os quais preservam as características químicas e físicas do solo (Bayer & Mielniczuk, 1999).

Fatores como a maior quantidade de resíduos lábeis na superfície e maior quantidade de raízes até a profundidade de 0,10 m parecem ter exercido efeitos expressivos nos teores de C-res na forma humificada mais estável, após o terceiro ano de cultivo (Tabela 5). Segundo Sousa & Melo (2003), o maior valor de C na forma de humina implica, em última instância, em maior retenção de umidade, melhor estruturação do solo e maior retenção de cátions, características de extrema importância quando se trata de estudo e desenvolvimento de sistemas sustentáveis de produção agrícola.

Diekow et al. (2005) relataram que o C-res pode contribuir de forma expressiva para o teor de C-org do solo no sistema de plantio direto. Segundo os referidos autores esta contribuição se deve à preservação dos agregados do solo pela matéria orgânica dos microorganismos e de exoenzimas, cuja atividade encontra-se intensificada em função das condições mais oxidantes do ambiente.

O estoque de carbono orgânico do solo (Figura 2) foi pouco alterado pelos sistemas de culturas e fontes de nutrientes. O estoque médio (três anos) de carbono orgânico do solo nos sistemas em rotação ou não com culturas de cobertura foi de 31,6 e 30,8 Mg ha<sup>-1</sup> na camada de 0,00-0,10 m, de 28,9 e 25,7 Mg ha<sup>-1</sup> na camada de 0,10-0,20 m, e de 38,0 e 37,4 Mg ha<sup>-1</sup> na camada de 0,20-0,40 m, respectivamente (Figura 2). Estes resultados corroboram os obtidos por Pereira et al. (2010), que, trabalhando em um Latossolo Vermelho de Uberaba (MG) no sistema de plantio direto, não encontraram efeitos significativos do uso de braquiária (*Brachiaria brizantha*), milheto (*Pennisetum americanum*) e crotalária (*Crotalaria juncea*) como plantas de cobertura do solo no estoque de carbono orgânico na camada de 0,0-0,20 m, em comparação ao pousio.

Os resultados de estoque de carbono encontrados neste estudo são considerados altos se comparados com outros trabalhos da literatura (Conceição et al., 2005; Canellas et al.,



**Figura 2.** Estoque de carbono orgânico do solo (média dos três anos) nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m de profundidade, em diferentes sistemas de culturas e fontes de nutrientes. Barras representam os valores médios (n=4) ± erro-padrão da média (Sucessão: trigo/milho/trigo/soja/milho/soja. Rotação: aveia+ervilhaca+nabo/ milho/trigo/mucuna+brachiária+crotalária/milho/soja).

**Figure 2.** Soil organic carbon stocks (means of the three years) at 0.0-0.10, 0.10-0.20 and 0.20-0.40 m in depth in different cropping systems and nutrient sources. Bars represent the mean values (n = 4) ± standard error of the mean (Succession: wheat/ corn/wheat/soybean/corn/soybean. Rotation: oat+vetch+turnip+corn/wheat/mucuna+brachiaria+crotalaria/corn/soybean).

2007; Chaves & Dias, 2008; Blanchart et al., 2007; Pereira et al., 2010). O acúmulo de C pode variar regionalmente devido às condições climáticas (Carvalho et al., 2010), ao tipo de solo (Bayer & Mielniczuk, 1999), ao manejo aplicado e, principalmente, em função do tempo de implantação do sistema de plantio direto (Carvalho et al., 2009). Estudos de longa duração realizados na região Sul em sistema de plantio direto, indicam taxas anuais potenciais de acúmulo de C-org do solo variando entre 0,5 e 1,0 Mg ha<sup>-1</sup>, para intervalos de 0 a 16 anos (Pillon et al., 2007).

O maior estoque de carbono orgânico (Figura 2) evidenciado neste estudo na camada de 0,20-0,40 m é atribuído à maior espessura desta camada (0,20 m) em comparação às camadas de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m (0,10 m).

## CONCLUSÕES

O teor de C orgânico e C residual do solo não foram afetados pelos diferentes sistemas de culturas.

As adubações orgânica e mineral+orgânica promoveram aumentos nos teores de C orgânico e C residual do solo.

O sistema em sucessão de culturas, adubado apenas com fertilizante mineral, resultou em maiores perdas de C orgânico do solo.

## LITERATURA CITADA

Amado, T.J.C. Manejo da palha, dinâmica da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes em plantio direto. In: Encontro Nacional de Plantio Direto na Palha, 2000. Foz do Iguaçu. Resumos. Foz do Iguaçu: FEBRAPDP, 2000. p.105-111.

- Andreola, F.; Costa, L.M.; Mendonça, E.S.; Olszewski, N. Propriedades químicas de uma Terra Roxa Estruturada influenciadas pela cobertura vegetal de inverno e pela adubação orgânica e mineral. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.24, n. 3, p.609-620, 2000.
- Bayer, C. Aumento do estoque de matéria orgânica de um Cambissolo Húmico catarinense sob plantio direto. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v.2, n. 1, p.81-87, 2003.
- Bayer, C.; Mielniczuk, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: Santos, G.A.; Camargo, F.A.O. (Ed.). *Matéria orgânica do solo: fundamentos e caracterização*. Porto Alegre: Gênese, 1999. p.9-6.
- Blair, G.J.; Lefroy, R.D.B.; Lisle, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. *Australian Journal Agricultural Research*, v.46, n. 7, p.1459-1466, 1995. <http://dx.doi.org/10.1071/AR9951459>
- Blanchart, E.; Bernoux, M.; Sarda, X.; Siqueira Neto, M.; Cerri, C.C.; Piccolo, M.C.; Douzet, J.M.; Scopel, E.; Feller, C. Effect of direct seeding mulch-based systems on soil carbon storage and macrofauna in Central Brazil. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, v.72, n. 1, p.81-87, 2007.
- Canellas, L.P.; Baldotto, M.A.; Busato, J.G.; Marciano, C.R.; Menezes, S.C.; Silva, N.M.; Rumjanek, V.M.; Velloso, A.C.X.; Simões, M.L.; Martin-Neto, L. Estoque e qualidade da matéria orgânica de um solo cultivado com cana-de-açúcar por longo tempo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, n.2, p.331-340, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000200014>
- Carvalho, J.L.N.; Avanzi, J.C.; Silva, M.L.N.; Mello, C.R.; Cerri, C.E.P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil: uma revisão de literatura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, n. 2, p.277-289, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000100017>
- Carvalho, J.L.N.; Cerri, C.E.P.; Feigl, B.J.; Picollo, M.C.; Godinho, V.P.; Cerri, C.C. Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazilian Amazon. *Soil and Tillage Research*, v.103, n. 2, p.342-349, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2008.10.022>
- Ceretta, C.A.; Basso, C.J.; Herbes, M.G.; Poletto, N.; Silveira, M.J. Produção e decomposição de fitomassa de plantas invernais de cobertura de solo e milho, sob diferentes manejos da adubação nitrogenada. *Ciência Rural*, v. 32, n. 1, p. 49-54, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782002000100008>
- Chaves, L.H.G.; Farias, C.H.A. Variabilidade espacial do estoque de carbono nos Tabuleiros Costeiros da Paraíba: Solo cultivado com cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.3, n.1, p.20-25, 2008. <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v3i1a235>
- Conceição, P.C.; Amado, T.J.C.; Mielniczuk, J.; Spagnollo, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos correlacionados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, n. 5, p.777-788, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832005000500013>
- D'Andréa, A.F.; Silva, M.L.N.; Curi, N.; Guilherme, L.R.G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, n.2, p.179-186, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2004000200012>
- Diekow, J.; Bayer, C.; Martin Neto, L.; Mielniczuk, J. Preparo do solo e o ciclo do carbono: preparo convencional, preparo mínimo e plantio direto. In: *Simpósio sobre Plantio Direto e Meio Ambiente: Seqüestro de Carbono e Qualidade da Água*, 1., 2005, Foz do Iguaçu. Anais... Ponta Grossa: FBPDP, p. 38-43, 2005.
- Leite, L.F.C.; Mendonça, E.S.; Neves, J.C.L.; Machado, P.L.O.A.; Galvão, J.C.C. Estoques totais de C orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, n.5, p.821-832, 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832003000500006>
- Longo, R.M.; Spíndola, C.R. C-orgânico, N-total e substâncias húmicas sob influência da introdução de pastagens (*Brachiaria* sp.) em áreas de cerrado e floresta amazônica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.24, n. 4, p.23-729, 2000.
- Lovato, T.; Mielniczuk, J.; Bayer, C.; Vezzani, F. Carbono e nitrogênio adicionados e sua relação com o rendimento do milho e estoques destes elementos no solo em sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, n. 1, p.175-187, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000100017>
- Marchi, E.C.S.; Alvarenga, M.A.R.; Marchi, G.; Silva, C.A.; Souza Filho, J.L. Efeito da adubação orgânica sobre as frações de carbono de solos cultivados com alface americana. *Ciência e Agrotecnologia*, v.32, n.6, p.1760-1766, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542008000600013>
- Marchiori Júnior, M.; Melo, W.J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.35, n. 6, p.1177-1182, 2000. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2000000600014>
- Maria, I.C.; Castro, O.M. Fósforo, potássio e matéria orgânica em um Latossolo roxo sob sistemas de manejo com milho e soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.17, n.3, p.471-477, 1993.
- Pavan, M.A.; Bloch, M.; Zempulski, H.D.; Miyazawa, M.; Zocoler, D. Manual de análises químicas de solo e controle de qualidade. Londrina: IAPAR. 1992. 32p. (Circular, 76).
- Pereira, M.G.; Loss, A.; Beutler, S.J.; Torres, J.L.R. Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.45, n.5, p.508-514, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2010000500009>
- Pillon, C.N.; Scivittaro, W.B.; Potes, M.L.P.; Moraes, C.S.; Michels, G.H.; Pereira, J.S. Acúmulo de carbono orgânico por sistemas de cultura sob plantio direto em terras baixas. *Cadernos de Agroecologia*, v.2, n.1, p.1040-1043, 2007.
- Santos, T.E.M.; Montenegro, A.A.A.; Silva, E.F.F.; Lima Neto, J.A. Perdas de carbono orgânico, potássio e solo em Neossolo Flúvico sob diferentes sistemas de manejo no semi-árido. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.2, n.2, p.143-149, 2007.
- Scherer, E.E.; Nesi, C.N. Características químicas de um Latossolo sob diferentes sistemas de preparo e adubação orgânica. *Bragantia*, v.68, n.3, p.715-721, 2009.

- <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052009000300019>
- Schick, J.; Bertol, I.; Balbinot Junior, A.A.; Batistela, O. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: II. Perdas de nutrientes e carbono orgânico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.24, n.2, p.437-447, 2000.
- Shang, C.; Tiessen, H. Organic matter lability in a tropical Oxisol: evidence from shifting cultivation, chemical oxidation, particle size, density and magnetic fractionations. *Soil Science*, v.162, n.11, p.795-807, 1997.
- Six, J.; Ogle, S.M.; Breidt, F.J.; Conant, R.T.; Mosier, A.R.; Paustian, K. The potential to mitigate global warming with no-tillage management is only realized when practiced in the long term. *Global Change Biology*, v.10, n. 2, p.155-160, 2004. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1529-8817.2003.00730.x>
- Souza, E.D.; Costa, S.E.V.G.A. Anghinoni, I.; Carvalho, P.C.F.; Andrigueti, M.; Cao, E. Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, n.6, p.1829-1836, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000600030>
- Souza, W.J.O.; Melo, W.J. Matéria orgânica de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de produção de milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, n. 6, p.1113-1122, 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832003000600016>
- Xavier, F.A.S.; Maia, S.M.F.; Oliveira, T.S.; Mendonça, E.S. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba, CE. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, n.2, p.247-258, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832006000200005>