

Frações orgânicas e índice de manejo de carbono do solo em diferentes sistemas de produção orgânica

Organic fractions and carbon management index of soil under different organic production systems

Arcângelo Loss¹, Marcos Gervasio Pereira², Nivaldo Schultz¹,
Lúcia Helena Cunha dos Anjos², Eliane Maria Ribeiro da Silva³

RESUMO

O efeito do manejo orgânico pode influenciar positivamente nas frações da matéria orgânica do solo. Este estudo objetivou avaliar as frações orgânicas do solo e o índice de manejo do carbono em áreas submetidas a manejo orgânico sob diferentes sistemas de uso do solo. As áreas selecionadas apresentavam os seguintes sistemas de uso do solo: preparo convencional (PC) com cultivo de milho, plantio direto (PD) com cultivo de berinjela, preparo reduzido (PR) com cultivo de figo, consórcio maracujá - *Desmodium* sp e um sistema agroflorestal (SAF). Uma área de floresta secundária foi tomada como referência da condição original do solo. As amostras de terra foram coletadas nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm. Foi quantificado o carbono orgânico total (COT), o carbono orgânico particulado (COP) e o carbono orgânico associado aos minerais (COam). Em seguida calcularam-se os respectivos estoques (EstCOT, EstCOP e EstCOam) e o índice de manejo de carbono (IMC). Na profundidade de 0-5 cm observaram-se maiores teores de COT na área de figo (PR) seguido de berinjela (PD), sendo na profundidade de 5-10 cm verificado maiores diferenças entre as áreas avaliadas para este atributo. O EstCOP foi maior na área sob plantio direto (0-5 cm), sendo observado diferenças entre todas as áreas nesta profundidade. Esta área também apresentou o maior IMC. Os maiores valores de EstCOam foram observados na área de figo (PR), nas duas profundidades, sendo constatadas diferenças entre as demais áreas. Os resultados encontrados indicam que o COT foi mais eficiente para identificar mudanças provenientes do manejo adotado na profundidade de 5-10 cm, sendo este comportamento observado para o EstCOP em superfície (0-5 cm). O IMC encontrado na área de berinjela sob PD, manejado organicamente e com uso de leguminosas na forma de adubação verde, demonstra a maior sustentabilidade do sistema em relação às demais áreas avaliadas.

Palavras chave: Matéria orgânica, fracionamento granulométrico, resíduos vegetais, adubação verde, agricultura orgânica.

ABSTRACT

*The effect of organic management may have a positive influence on the fractions of soil organic matter. This study aimed to evaluate the fractions of soil organic content and carbon management in areas subject to organic management under different systems of soil use. The areas selected presented the following systems of soil use: conventional tillage (CT) with corn cultivation, no tillage (NT) with eggplant cultivation, reduced tillage (RT) with fig cultivation, passion fruit and *Desmodium* sp combination and an agroforest system (AFS). An area of secondary forest was taken as reference for the original condition of the soil. The soil samples were taken at depths of 0-5 and 5-10 cm. We quantified the total organic carbon (TOC), particulate organic carbon (POC) and organic carbon associated with minerals (OCam). These measures were used to estimate the stock (StTOC, StPOC and StOCam) and carbon management (CMI) indexes. In the 0-5 cm depth there were higher levels of TOC in the fig (RT) followed by eggplant (NT), and the depth of 5-10 cm found major differences between the areas evaluated for this attribute. The StPOC was greater in the area under direct sowing (0-5 cm), and was different between all areas in depth. This area also had the highest CMI. The best StOCam were observed in the fig (RT) in both depths; these were different than the other areas. The results indicate that the TOC was more effective in identifying changes due to the management adopted at a depth of 5-10 cm, while StPOC was the best measure for surface soil (0-5 cm). The CMI found in the eggplant under NT, managed organically and with the use of legumes as green manure, demonstrated the greatest sustainability of the system in relation to other areas.*

Key words: Organic matter, granulometric fractionating (sieving), vegetable waste, green manure, organic agriculture.

¹ Doutorando do Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo (CPGA-CS), Bolsista CNPq, Depto. Solos, Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), BR 465, km 7, Seropédica, RJ, CEP 23890-000. E-mail: arcangeloloss@yahoo.br, nsufrj@yahoo.com.br

² Professor Associado, Bolsista CNPq, Depto. Solos, Instituto de Agronomia, UFRRJ, BR 465, km 7, Seropédica, RJ, CEP 23890-000. E-mail: gervasio@ufrj.br, lanjosh@ufrj.br,

³ Pesquisadora da Embrapa Agrobiologia, BR 465, km 7, Seropédica, RJ, CEP CEP 23890-000. E-mail: eliane@cnab.embrapa.br

Introdução

Nos tempos atuais, o grande desafio da agricultura é a busca da sustentabilidade socioeconômica da exploração agrícola ou de uma nova condição de equilíbrio do sistema de produção, que envolve, dentre outros, o manejo adequado do solo associado à corretas rotações e/ou consorciações culturais (Soares, 2005). Dessa forma, a agricultura orgânica surge como uma alternativa de manejo que se encaixa nos moldes acima, já que nesta forma de cultivo, várias práticas conservacionistas são usadas (Loss *et al.*, 2009a, b). O uso de matéria orgânica, seja de origem vegetal ou animal, tem demonstrado promover melhorias nas propriedades edáficas em áreas sob manejo orgânico de produção (Loss *et al.*, 2009a).

O impacto dos sistemas de manejo do solo sobre a dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS), ou em outras palavras, sobre o ciclo do carbono nos agroecossistemas merece especial atenção. Sistemas de manejo que adicionam matéria orgânica, principalmente via resíduos vegetais, podem incrementar o conteúdo de carbono orgânico no solo, contribuindo para a manutenção da sustentabilidade agrícola do solo e diminuição da emissão CO₂ para a atmosfera. Desta forma, a disponibilidade de métodos práticos e eficientes para avaliar a dinâmica do carbono se faz necessária (Campos, 2006), principalmente em sistemas orgânicos.

Com o objetivo de avaliar as modificações no conteúdo da matéria orgânica no solo, decorrentes do manejo, Blair *et al.* (1995) propuseram o uso do índice de manejo de carbono (IMC), buscando unir as características quantitativas e qualitativas da MOS, como forma de avaliar o desempenho de um determinado sistema de manejo. Este sistema pode ser o solo em estado natural de floresta ou pastagem natural.

Inicialmente a labilidade da MOS foi avaliada por meios químicos, que apresentavam restrições sendo que recentemente o uso de frações orgânicas obtidas por meios físicos tem sido utilizado preferencialmente na estimativa deste índice (Nicoloso, 2005; Amado *et al.*, 2006; Vieira *et al.*, 2007). O IMC parece ser uma ferramenta útil em indicar os melhores sistemas de manejos de solos e culturas, por integrar numa mesma medida as variações ocorridas nas diferentes frações da MOS (Nicoloso, 2005; Vieira *et al.*, 2007).

Dessa forma, a integração de frações químicas (carbono orgânico total) e frações físicas da MOS

(carbono orgânico particulado e carbono associado aos minerais) podem proporcionar um bom parâmetro (IMC) para avaliar a capacidade de sistemas de manejo em melhorar a qualidade do solo (Blair *et al.*, 1995, 2006a, b; Diekow *et al.*, 2005; Amado *et al.*, 2006; Vieira *et al.*, 2007).

No Brasil existem muitos estudos sobre a dinâmica da MOS em sistemas com culturas de grãos e/ou pastagem de médio a longo tempo (Tarré *et al.*, 2001; Freixo *et al.*, 2002a; Leite *et al.*, 2003; 2007). Entretanto, poucos são aqueles que avaliam o efeito da adição de compostos orgânicos e do uso da adubação verde sobre as frações da MOS sob sistemas de cultivo manejados organicamente (Loss *et al.*, 2009a, b). Pelo exposto, este estudo teve como objetivo avaliar as frações orgânicas e o índice de manejo do carbono do solo em áreas sob diferentes sistemas de uso do solo com manejo orgânico.

Material e Métodos

O estudo foi realizado na área do Sistema Integrado de Produção Agroecológica (SIPA). Este sistema foi criado em 1993 e compreende uma área de 59 ha destinada ao exercício da agroecologia. O SIPA está localizado na Embrapa Agrobiologia, em Seropédica, RJ, Brasil, situado na latitude 22° 45' S, longitude 43° 41' W Grw e altitude de 33 metros. O clima verificado na área é Aw da classificação de Köppen. O solo da área experimental foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo (Embrapa, 2006), apresentando textura franco-arenosa na camada arável (0-20 cm), sendo rotineiramente cultivado com oleráceas e frutíferas.

As glebas selecionadas para este estudo apresentavam as seguintes formas de cultivo e cobertura vegetal:

- cultivo de figo (*Ficus carica*) em preparo reduzido do solo (PR) com sete anos e as entrelinhas com gramíneas (*Paspalum notatum*). No início do plantio da frutífera (1999) foi utilizado como planta de cobertura para o solo o siratro (*Macroptilium artropurpureum*). Esta leguminosa permaneceu na área até o ano de 2002. A adubação orgânica utilizada no plantio do figo consistiu de 30 litros por cova de esterco bovino curtido, sendo: 1/3 colocado no fundo da cova e 2/3 homogeneizados com a terra retirada da cova, sendo posteriormente devolvida. Em cobertura, para formação inicial

- do pomar, utilizou-se 4,5 kg de cama de aviário, num raio de 50 cm distante de cada planta. Na época da coleta das amostras de solo para este estudo (2005) verificou-se apenas o uso de cobertura morta, composta por resíduos vegetais provenientes do corte da gramínea (grama batatais - *Paspalum notatum*) das entrelinhas.
- cultivo de milho (*Zea mays*) em área que há oito anos vem sendo conduzidos experimentos com rotação de culturas, tais como milho (*Zea mays*), feijão (*Phaseolus vulgaris*), quiabo (*Abelmoschus esculentus*), couve (*Brassica oleracea*), berinjela (*Sonchum melongena* L.), sendo utilizado o preparo convencional (PC) do solo, com aração e gradagem. Nesta área foi utilizado a leguminosa crotalária (*Crotalaria juncea* e *Crotalaria spectabilis*), tanto em consórcio e/ou na forma de pré-cultivo.
 - cultivo de berinjela (*Sonchum melongena* L.) com a mesma seqüência de rotação de culturas e tempo de utilização da área de milho (PC), entretanto em sistema de plantio direto (PD). Nesta área fez-se uso das seguintes leguminosas: mucuna cinza (*Mucuna pruriens*), mucuna anã (*Mucuna deeringiana*), *Crotalaria spectabilis* e *Crotalaria juncea*, consorciadas com a cultura principal. No momento da coleta das amostras de solo, as áreas com berinjela (PD) e milho (PC) não apresentavam mais plantas de cobertura recobrando o solo. Nestas áreas (PD e PC) sempre é adicionado esterco de curral nas covas e/ou sulcos no momento do plantio das oleráceas (doses variando de 50 a 100 kg ha⁻¹ de N, dependendo da cultura e de sua necessidade) e “cama” de aviário em cobertura (doses variando de 100 a 200 kg ha⁻¹ de N).
 - consórcio maracujá (*Passiflora edulis*)-*Desmodium* sp, sendo esta área cultivada com maracujá desde 1996. Nesta área sempre foi realizado consórcio com leguminosas, sendo de 1996 até 2000 utilizado *Arachis pintoi*. Em seguida a frutífera foi consorciada com *Desmodium* sp. A adubação orgânica utilizada no plantio do maracujá consistiu de 30 litros por cova de esterco bovino curtido, sendo realizado duas adubações de cobertura com “cama” de aviário por ano, na dose equivalente a 100 kg ha⁻¹ de N.
 - sistema agroflorestal (SAF) com cinco anos, sendo formado por banana (*Musa sapientum*), açaí (*Euterpe oleracea*), cacau (*Theobroma cacao*), mamão (*Carica papaya*) e guapuruvu (*Schizolobium parahyba*). O SAF não recebeu nenhum tipo de adubação complementar, ou seja, o fornecimento de nutrientes é decorrente do aporte e decomposição do material vegetal aportado pelas espécies presentes no sistema. Uma área de floresta tropical subcaducifólia, localizada próxima às áreas experimentais, foi tomada como referência da condição original do solo. O manejo da fertilidade do solo das áreas foi iniciado com a correção da acidez através da incorporação de calcário dolomítico, sendo feito pela primeira vez em 1993, por ocasião da implantação do SIPA, em quantidade baseada nos resultados de análises de solo de cada gleba. A caracterização dos adubos utilizados no SIPA, em média, é apresentada na Tabela 1, segundo Silva *et al.* (2006).

Tabela 1. Teor de nutrientes dos adubos orgânicos utilizados no SIPA.

Adubo orgânico	N	Ca	Mg	P	K
	g kg ⁻¹				
Cama de aviário	37,25	50,03	6,23	22,68	23,93
Esterco bovino	15,20	9,68	3,43	2,24	5,80

A coleta das amostras de solo foi realizada no dia 17 de novembro de 2005. Em cada uma das áreas foram coletadas cinco amostras simples para compor uma amostra composta, sendo totalizadas cinco repetições, nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm. Todas as áreas avaliadas apresentavam relevo plano, sendo os pontos de coleta realizados em zigue-zague, nas entrelinhas das culturas, para não comprometer o sistema radicular. Também apresentavam a mesma textura nas duas profundidades (franco-arenosa) e tamanho de gleba (0,12 ha) (Loss *et al.*, 2009a).

Foram quantificados os teores de carbono orgânico total (COT) segundo Yeomans & Bremner (1988) e realizado o fracionamento granulométrico da MOS (Cambardella e Elliott, 1992), onde realiza-se a dispersão da amostra com solução de hexametáfosfato de sódio (5 g L⁻¹) e a separação da fração areia das frações silte e argila com auxílio de peneira de 53 µm. O material retido na peneira, que consiste no carbono orgânico particulado (COP > 53 µm) foi seco em estufa a 50 °C, quantificado em relação a sua massa, moído em gral de porcelana e

analisado em relação ao teor de carbono orgânico total (COT) segundo Yeomans & Bremner (1988). O material que passou pela peneira de 53 μm , que consiste no carbono orgânico associado aos minerais (COam < 53 μm , foi obtido por diferença entre o COT e COp.

O estoque de carbono das frações granulométricas e do COT foi calculado através da seguinte equação: $Cac = (C \times Ds \times e)/10$, onde o *Cac* representa o carbono acumulado (Mg ha^{-1}); *C*, indica o teor de carbono na camada (g kg^{-1}); *Ds*, a densidade do solo (Mg m^{-3}) e *e* a espessura da camada em análise, em cm (Freixo *et al.*, 2002b).

A partir dos resultados dos estoques de COT e de cada fração granulométrica, calculou-se o índice de manejo de carbono (IMC) segundo Blair *et al.* (1995). Este índice vem a ser uma medida relativa das alterações provocadas pelo manejo ao solo, comparando-o com uma situação considerada original ou ideal (neste estudo, a área de floresta secundária foi tomada como situação original). A estimativa do IMC foi realizada com base na soma dos valores médios das duas profundidades analisadas e, como condição natural, o solo sob floresta secundária foi utilizado como referência (IMC = 100).

Para obtenção do IMC, necessita-se do índice de estoque de carbono (IEC), sendo este índice calculado a partir da relação entre o COT de cada área em relação ao COT da área tomada como referência (floresta secundária). A labilidade (L) da MOS foi determinada pela relação entre COp e COam e o índice de labilidade (IL) calculado pela relação entre a L de cada área e a L da área referência. O IMC de cada área foi obtido pela multiplicação entre o IEC e o IL vezes 100 (Blair *et al.*, 1995).

Os dados encontrados foram avaliados como delineamento inteiramente casualizado. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância com aplicação do teste F e os valores médios comparados entre si pelo teste LSD-student a 5% de probabilidade.

Resultados e Discussão

Carbono orgânico total (COT)

Os teores médios de COT apresentaram uma tendência de valores mais elevados na profundidade de 0 a 5 cm, demonstrando a maior influência dos resíduos vegetais deixados em superfície pelas diferentes coberturas vegetais analisadas (Tabela 1).

Tabela 1. Carbono orgânico total (COT) e estoque total de carbono (EstCOT) das áreas sob diferentes coberturas vegetais avaliadas nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm no SIPA.

Sistemas de uso do solo avaliados	COT (g kg^{-1})		EstCOT (Mg ha^{-1})	
	0-5 cm	5-10 cm	0-5 cm	5-10 cm
Berinjela (PD)	10,97 B	9,53 C	7,41 B	6,90 B
Milho (PC)	9,48 C	8,89 D	6,32 C	6,34 C
Figo (PR)	13,70 A	11,49 A	9,46 A	8,24 A
Maracujá	9,07 C	7,42 E	6,15 C	5,29 D
SAF	9,44 C	7,04 F	6,23 C	4,73 E
Floresta secundária	13,02 A	10,05 B	8,59 B	7,41 B
F calculado	50,50**	159,68**	49,63**	142,33**
C.V.(%)	5,72	3,25	5,63	3,66

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem significativamente entre as coberturas vegetais pelo teste LSD-student a 5%. **Significativo a 1% pelo teste F. CV=coeficiente de variação.

As áreas sob coberturas de figo e berinjela apresentaram teores de COT superiores às demais áreas cultivadas, nas duas profundidades, destacando-se a área com figo (PR) que apresentou os maiores teores médios de COT (5-10 cm), sendo estatisticamente igual à área de floresta secundária na profundidade de 0-5 cm (Tabela 1). Este comportamento pode ser devido à utilização da cobertura morta com grama batatais na área com figo (PR), já que na área com berinjela é realizada a rotação de culturas em plantio direto, o que permite a manutenção e o acúmulo de resíduos vegetais na superfície do solo. Também se pode destacar, nessas áreas, o uso de adubação verde com leguminosas (siratiro no PR; crotalária e mucuna no PD), sendo que esta prática pode aumentar os teores de COT quando os adubos verdes são introduzidos junto ao cultivo (Duda *et al.*, 2003). Na área com milho também se faz uso de leguminosas, entretanto o PC do solo ocasiona a quebra dos agregados do solo, expondo a matéria orgânica que estava protegida no interior dos agregados. Dessa forma, ocorre um aumento na velocidade de decomposição da MOS e, conseqüentemente, diminuição dos teores de COT.

Comportamento semelhante foi encontrado por Bertol *et al.* (2004), estudando as propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, onde os autores verificaram que o teor de carbono orgânico foi 27% maior na área de semeadura direta e 54% maior no campo nativo em comparação a área de preparo convencional, para a profundidade de 0-10 cm. Porém, na profundidade de 0,0-2,5 cm,

essas diferenças foram maiores ainda, sendo 56 e 77%, respectivamente, para semeadura direta e campo nativo em comparação ao preparo convencional.

Na profundidade de 5-10 cm foram encontradas maiores variações nos teores de COT e EstCOT entre as áreas das coberturas vegetais analisadas (Tabela 1). Este comportamento pode ser um reflexo do manejo empregado (adubação orgânica), o que associado à textura franco arenosa do horizonte A e a quantidade de resíduos vegetais oriundos de cada cultura mais a forma de preparo do solo de cada área, estão influenciando nos teores médios de COT, principalmente no verão, período com maior disponibilidade de água e temperaturas mais altas. Esse ambiente favorece o aumento da velocidade das reações químicas no solo, ocorrendo uma mineralização rápida da MOS, conduzindo a diferentes teores de COT.

Os maiores valores médios para estoque de carbono no solo foram verificados para as áreas que apresentaram os maiores teores de COT, nas duas profundidades (Tabela 1). Estudando os estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em Argissolo Vermelho-Amarelo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral (doses de 0, 250 e 500 kg ha⁻¹ da fórmula 4-14-8) e orgânica (0 e 40 m³ ha⁻¹) de composto de palha de soja e feijão misturados a esterco bovino), Leite *et al.* (2003) verificaram maiores estoques ($P < 0,05$) de COT nos sistemas de produção com adubação orgânica em comparação aos sistemas sem adubação ou apenas com adubação mineral, confirmando que a adubação orgânica é uma estratégia de manejo importante para a melhoria da qualidade do solo.

Entre os sistemas plantio direto (berinjela) e preparo convencional do solo (milho), verificou-se nas duas profundidades maiores teores de COT e EstCOT no PD (Tabela 1). Este comportamento demonstra que o sistema PD manejado organicamente é capaz de manter e/ou até mesmo aumentar o conteúdo de carbono orgânico no solo, contribuindo para a manutenção da capacidade produtiva das áreas agrícolas.

Avaliando o potencial de acúmulo de C em solos do Sul do Brasil com diferentes texturas (arenosa, média, argilosa e muito argilosa) sob PD e PC do solo, ambos em sistemas de rotação de culturas e com uso de leguminosas, Amado *et al.* (2006) verificaram maiores teores de carbono nos solos sob PD do que PC.

O sistema de manejo adotado na área sob cultivo de figo (preparo reduzido do solo com uso de siratro seguido de cobertura morta com grama batatais) está aumentando os estoques de COT quando comparado com a área de floresta secundária (Tabela 1).

Fracionamento granulométrico da MOS

A área de berinjela apresentou o maior valor médio de EstCOP (Figura 1). Este comportamento deve-se a esta área ser manejada sob PD e com rotação de culturas. Esta rotação é a mesma que é empregada na área de milho, entretanto as práticas agrícolas como a aração e a gradagem que são realizadas nesta área está propiciando a redução dos teores de COT e, conseqüentemente, menores valores de EstCOP em superfície. Já para a profundidade de 5 a 10 cm, observou-se que na área desta cobertura ocorreram valores superiores às demais, com exceção a área de berinjela. Este comportamento pode ser atribuído à incorporação da fração leve (resíduos culturais principalmente) ao solo através das formas de preparo desta área.

Verificou-se que o EstCOP mostrou-se eficiente para evidenciar diferenças entre as áreas analisadas, principalmente na camada superficial (Figura 1), onde ocorre o maior acúmulo dos resíduos vegetais e a influência direta do manejo e da rotação/consorciação de culturas. As áreas sob coberturas de berinjela (PD), milho (PC) e figo (PR) apresentaram maiores valores de EstCOP que a área de floresta secundária na profundidade de 0-5 cm. Este comportamento pode ser devido ao uso de adubação verde que é realizado nestas áreas, tanto em consórcio, rotação ou em pré-cultivos.

A adubação verde associada à rotação de culturas, com incorporação de plantas de cobertura ao solo, favorece a reciclagem de nutrientes, a agregação, o armazenamento da água e a manutenção da MOS, em comparação com os monocultivos anuais, com efeitos positivos na fertilidade e reciclagem de nutrientes (Boer *et al.*, 2007).

Avaliando a influência do aumento da intensidade de utilização das pastagens de inverno (três sistemas de manejo de pastagens de inverno –sem pastoreio, com pastoreio a cada 14 dias e pastoreio a cada 28 dias) e diferentes sistemas de culturas de verão (monocultura da soja, monocultura do milho e rotação soja/milho) sobre a dinâmica da MOS e de suas frações granulométricas de um Argissolo Vermelho-Amarelo em áreas de integração

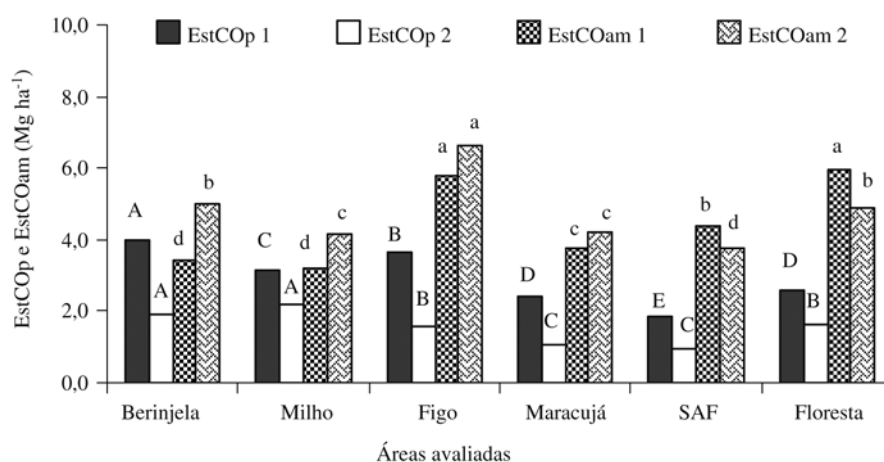


Figura 1. Valores médios de estoque total de carbono orgânico particulado (EstCOP) e carbono orgânico associado aos minerais (EstCOam) nas áreas avaliadas sob os diferentes sistemas de uso do solo na profundidade de 0-5 cm (1) e 5-10 cm (2) no SIPA. Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre as áreas avaliadas pelo teste LSD-student a 5% para EstCOP e, mesma letra minúscula, para EstCOam.

lavoura-pecuária sob plantio direto, Nicoloso (2005) constatou que o COP foi mais eficaz para avaliar as modificações nos teores de carbono orgânico decorrentes do manejo, em especial nos primeiros centímetros do solo (0,0-2,5 e 2,5-5,0 cm).

O autor observou que a principal fração da MOS modificada pelo manejo empregado em cada tratamento foi a fração particulada (COP), sendo que os estoques de COT nesta fração se mostraram muito mais eficientes em identificar as mudanças provenientes do manejo aplicado sobre as pastagens de inverno do que a fração associada aos minerais. Este comportamento também foi observado neste estudo. Na fração EstCOP foram verificadas as maiores modificações frente às mudanças promovidas pelas diferentes coberturas vegetais analisadas, quando comparado com os EstCOam, ambos na profundidade de 0-5 cm (Figura 1).

Este comportamento demonstra que a variação dos estoques de COP entre as diferentes áreas estudadas, na profundidade de 0 a 5 cm, é dependente da adição de resíduos vegetais, ou seja, sistemas de manejo e culturas que favorecem a adição de resíduos na superfície do solo influenciam na manutenção dos teores de EstCOP. Conseqüentemente, menores serão as perdas de carbono do solo, já que mais protegida estará a MOS lábil, pois a adição de resíduos favorecerá a formação de agregados que irão proteger fisicamente o COP.

Através da Figura 1 observa-se que na fração EstCOP as mudanças provenientes das diferentes

formas de manejo apresentaram maiores variações quando comparado ao COT na camada superficial do solo, pois este não apresentou diferenças estatísticas entre as áreas de milho, maracujá e SAF, nesta profundidade (Tabela 1). Desta forma, verifica-se que a fração particulada pode funcionar como um indicador eficiente frente às alterações decorrentes do manejo dado ao solo em um curto período de tempo.

O estoque de carbono orgânico associado aos minerais (EstCOam), isto é, aquele relacionado às frações silte e argila, normalmente é menos alterado pelas diferentes formas de manejo adotado, principalmente a curto prazo (Bayer *et al.*, 2004). Entretanto, verificaram-se diferenças entre as áreas nas duas profundidades avaliadas (Figura 1). Estas diferenças podem estar associadas às práticas agroecológicas utilizadas, como adubação verde, rotação e/ou consorciação de culturas, adubação orgânica e manutenção dos resíduos vegetais em superfície, com exceção ao PC. Estas práticas utilizadas com frequência, associadas ao histórico e tempo de uso de cada área, podem estar influenciando nas diferenças encontradas, pois a textura do solo é a mesma em todas as áreas.

Índice de manejo de carbono (IMC)

O IMC mede as alterações nos estoques de COT considerando os aspectos da labilidade do carbono orgânico do solo (Nicoloso, 2005; Vieira *et al.*,

2007). Desta maneira, observou-se que as áreas das coberturas de berinjela e milho apresentaram maiores índices de L e IL que as demais. Através do IL foram evidenciadas maiores diferenças entre as áreas analisadas (Tabela 2).

Tabela 2. Índice de manejo de carbono (IMC) em função dos sistemas de culturas avaliados e do manejo orgânico, na profundidade de 0-10 cm.

Áreas avaliadas	IEC	L	IL	IMC
Berinjela (PD)	0,977 B	0,705 A	1,767 A	172,31 A
Milho (PC)	0,869 C	0,734 A	1,834 A	159,22 B
Figo	1,208 A	0,422 B	1,056 B	127,82 C
Maracujá	0,781 D	0,430 B	1,079 B	82,50 D
SAF	0,748 D	0,373 B	0,885 C	68,43 E
F calculado (Áreas)	92,93**	71,82**	61,27**	108,26**
C.V.(%)	4,69	8,51	9,52	8,05
Floresta secundária	1,00	0,400	1,00	100,00

**Significativo pelo teste F a 1%. Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de LSD-student a 5%. IEC=Índice de estoque de carbono; L=Labilidade do carbono; IL=Índice de labilidade do carbono.

De maneira geral, observaram-se diferenças entre todos os parâmetros analisados (IEC, L e IL), destacando-se o IEC com maiores variações estatísticas entre as áreas, sendo no SAF e na área de maracujá observados os menores índices. Estes resultados diferem dos encontrados por De Bona (2005) e Nicoloso (2005), onde os autores observaram maiores alterações no ILC decorrente do manejo adotado, comparativamente ao IEC e LC, em detectar alterações na dinâmica da MOS.

Avaliando o potencial de acúmulo de C em solos com texturas arenosa e argilosa sob plantio direto e preparo convencional com uso intensivo de rotação de culturas, Amado *et al.* (2006) encontraram maiores valores de IEC para solos em PD do que para PC. Neste estudo, a área de berinjela (PD) também apresentou maiores valores de IEC que a área com milho em PC.

Valores de IMC inferiores a 100 são indicativos negativos das práticas de manejo sobre a matéria orgânica e a qualidade do solo (Blair *et al.*, 1995; De Bona, 2005). Assim, observa-se que as áreas de berinjela (PD), milho (PC) e figo apresentaram IMC maiores que a condição original (floresta secundária), demonstrando o efeito positivo do manejo adotado no aumento do conteúdo do carbono no solo.

Estes resultados diferem dos encontrados por Oliveira *et al.* (2007), onde os autores avaliaram as frações do carbono orgânico oxidáveis em um Neossolo Flúvico, no perímetro irrigado de Curu-Pentecoste (CE, Brasil), em áreas com cultivo de banana sob adubação orgânica, sendo uma área cultivada há 15 anos e outra com 30 anos. Os autores não observaram IMC superiores a 100 (vegetação natural), ressaltando que o manejo adotado (adubação orgânica nas entrelinhas e restos culturais espalhados na área) não estava sendo suficiente para manter a sustentabilidade do sistema.

A área de berinjela foi a que apresentou o maior IMC em comparação às demais, indicando que o PD sob manejo orgânico está favorecendo o acúmulo do carbono no solo quando comparado aos demais sistemas de culturas. Para a área de plantio de milho verificaram-se maiores valores de IMC em comparação a área de figo. Este comportamento pode ser atribuído aos maiores valores dos índices de L e IL encontrados na área de milho e, também, ao fato desta área ser manejada com rotação de culturas, o que promove um maior aporte de resíduos vegetais ao solo.

Avaliando o IMC em sistemas com rotação de culturas em PD com leguminosas e gramíneas no Sul do Brasil no verão, Vieira *et al.* (2007) verificaram maiores valores de IMC nos sistemas com leguminosas em detrimento às gramíneas. Os autores relataram a adição de fotossintetizados de C ao solo pelas leguminosas, além de sua fitomassa e maior relação C/N que das gramíneas. Os maiores valores de IMC encontrados nas áreas de berinjela e milho podem ser decorrentes do uso constante de leguminosas quando comparados com as demais áreas. Blair e Crocker (2000), Diekow *et al.* (2005) e Blair *et al.* (2006b) também relataram aumentos nos valores de IMC quando foram introduzidas leguminosas nas rotações de culturas.

As áreas de maracujá e SAF apresentaram menores valores de IMC que a área de floresta secundária, demonstrando que o sistema ainda não atingiu um equilíbrio em relação à condição original e, que o cultivo está favorecendo a diminuição dos teores de MOS. Entre as áreas, o SAF apresentou o menor IMC e IL. Este comportamento pode ser decorrente do menor tempo de implantação deste sistema (5 anos) quando comparado aos demais.

Conclusões

O sistema de uso do solo com cultivo de figo em preparo reduzido do solo está aumentando os teores de COT e EstCOT.

O EstCOP mostrou-se mais adequado que o COT e EstCOT para evidenciar diferenças provenientes

do efeito do tipo de cobertura vegetal e forma de cultivo em sistemas orgânicos de produção, na profundidade de 0-5 cm.

O IMC encontrado na área de berinjela sob plantio direto, nos moldes da agricultura orgânica, demonstra a maior sustentabilidade do sistema em relação às demais áreas avaliadas.

Referências Citadas

- Amado, T.J.C.; Bayer, B.; Conceição, P.C.; Spagnollo, E.; Campos, B.C.; Veiga, M.
2006 Potential of Carbon Accumulation in No-Till Soils with Intensive Use and Cover Crops in Southern Brazil. *Journal of Environmental Quality*, 35: 1599-1607.
- Bayer, C.; Martin-Neto, L.; Mielniczuk, J.; Pavinato, A.
2004 Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39: 677-683.
- Bertol, I.; Albuquerque, J.A.; Leite, D.; Amaral, A.J.; Zoldan Junior, W.A.
2004 Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas ao campo nativo. *Rev. Brasileira de Ciência do Solo*, 28: 155-163.
- Blair, G.J.; Lefroy, R.D.B.; Lisle, L.
1995 Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. *Aust. J. Agric. Res.*, 46: 1459-1460.
- Blair, N.; Crocker, G.J.
2000 Crop rotation effects on soil carbon and physical fertility of two Australian soils. *Aust. J. Soil Res.*, 38: 71-84.
- Blair, N.; Faulkner, R.D.; Till, A.R.; Crocker, G.J.
2006b Long-term management impacts on soil C, N and physical fertility. Part III. Tamworth crop rotation experiment. *Soil Till. Res.*, 91: 48-56.
- Blair, N.; Faulkner, R.D.; Till, A.R.; Korschens, M.; Schulz, E.
2006a Long-term management impacts on soil C, N and physical fertility. Part II. Bad Lauchstadt static and extreme FYM experiments. *Soil Till. Res.*, 91: 39-47.
- Boer, C.A.; Assis, R.A.; Silva, G.P.; Braz, A.J.B.P.; Barroso, A.L.L.; Cargnelutti Filho, A.; Pires, F.R.
2007 Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42: 1269-1276.
- Cambardella, C.C. & Elliott, E.T.
1992 Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56: 777-783.
- De Bona, F.D.
2005 Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas irrigados por aspersão sob plantio direto e preparo convencional. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 154 p.
- Diekow, J.; Mielniczuk, J.; Knicker, H.; Bayer, C.; Dick, D.P., Kogel-Knaber, I.
2005 Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influenced by long-term no-till cropping systems and N fertilization. *Plant Soil*, 268, 319-328.
- Duda, G.P.; Guerra J.G.M.; Monteiro, M.T.; De-Polli, H.
2003 Perennial herbaceous legumes as live soil mulches and their effects on C, N and P of the microbial biomass. *Sci. Agric.*, 60: 139-147.
- Embrapa
2006 Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 312 p.
- Freixo, A.A.; Machado, P.L.O.A.; Santos, H.P.; Silva, C.A.; Fadigas, F.S.
2002a Soil organic carbon and fractions of a Rhodic Ferralsol under the influence of tillage and crop rotation systems in southern Brazil. *Soil and Tillage Research*, 64: 221-230.
2002b Estoque de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de Latossolo do cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 26: 425-434.
- Leite, L.F.C.; Mendonça, E.S.; Machado, P.L.O.A.
2007 Influence of organic and mineral fertilisation on organic matter fractions of a Brazilian Acrisol under maize/common bean intercrop. *Australian Journal of Soil Research*, 45: 25-32.
- Leite, L.F.C.; Mendonça, E.S.; Machado, P.L.O.A.; Matos, E.S.
2003a Total C and N storage and organic C pools of a Red-Yellow Podzolic under conventional and no tillage at the Atlantic Forest Zone, Southeastern Brazil. *Australian Journal of Soil Research*, 41: 717-730.
- Loss, A.; Pereira, M.G.; Schultz, N.; Anjos, L.H.C. & Silva, E.M.R.
2009a Atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo em sistema integrado de produção agroecológica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44: 68-75.
2009b Carbono e frações granulométricas da matéria orgânica do solo sob sistemas de produção. *Ciência Rural*, 39: 1067-1072.
- Nicoloso, R.S.
2005 Dinâmica da matéria orgânica do solo em áreas de integração lavoura-pecuária sob sistema plantio direto. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 150 p.
- Oliveira, C.L.; Oliveira, T.S.; Lacerda, N.B.; Costa, P.A.
2007 Frações do carbono orgânico oxidável em solos sob diferentes sistemas de manejo. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 31, Gramado. Anais. Gramado Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. CD-ROM.
- Silva, E. E.; Depolli, H.; Loss, A.; Pereira, M. G.; Gerra, J. G. M.
2009 Matéria orgânica e fertilidade do solo em cultivos consorciados de couve com leguminosas anuais. *Revista Ceres*, 56: 93-102.

- Soares, J.L.N.
2005 Alteração física e morfológica em solos cultivados sob sistema tradicional de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29: 1005-1014.
- Tarré, R.; Macedo, R.; Cantarutt, R.B.; Rezende, C.P.; Pereira, J.M.; Ferreira, E.; Alves, B.J.R.; Urquiaga, S.; Boddey, R.M.
2001 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*, 234: 15-26.
- Vieira, F.C.B.; Bayer, C.; Zanatta, J.A.; Dieckow, J.; Mielniczuk, J.; HE, Z.L.
2007 Carbon management index based on physical fractionation of soil organic matter in an Acrisol under long-term no-till cropping systems. *Soil & Tillage Research*, 96: 195-204.
- Yeomans, J.C. & Bremner, J.M.
1988 A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Commun. Soil Science and Plant Analysis*, 19: 1467-1476.