

# FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS E OXIDÁVEIS DE MATÉRIA ORGÂNICA SOB DIFERENTES SISTEMAS DE USO DO SOLO, NO PARANÁ, BRASIL

## GRANULOMETRIC AND OXIDIZABLE FRACTIONS OF ORGANIC MATTER UNDER DIFFERENT LAND USE SYSTEMS IN THE STATE OF PARANÁ, BRAZIL

Arcângelo LOSS<sup>1</sup>; Marcos Gervasio PEREIRA<sup>2</sup>; Elias Mendes COSTA<sup>3</sup>; Sidinei Julio BEUTLER<sup>4</sup>

1. Professor Adjunto, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Rural, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil. [arcangelo.loss@ufsc.br](mailto:arcangelo.loss@ufsc.br); 2. Professor Associado IV, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Instituto de Agronomia (IA), Departamento de Solos (DS), Seropédica, RJ, Brasil. 3. Engenheiro Agrônomo, Mestrando do Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Ciência do Solo (CPGA-CS), IA, DS, UFRRJ, Bolsista CNPq, Seropédica, RJ, Brasil. 4. Engenheiro Agrônomo, Doutorando do CPGA-CS, IA; UFRRJ, Bolsista CAPES-PROEX Seropédica, RJ, Brasil.

**RESUMO:** Neste estudo objetivou-se quantificar o carbono orgânico total (COT), o carbono das frações granulométricas e oxidáveis da matéria orgânica do solo (MOS) em áreas sob diferentes sistemas de uso do solo, em Marmeleiro-PR. Foram coletadas amostras de terra nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, sendo nestas quantificados os teores de COT, carbono orgânico particulado (COp), carbono orgânico associado aos minerais (COam) e o carbono das frações oxidáveis (F1, F2, F3, F4 e F1/F4). O sistema de semeadura direta (SSD) apresentou maiores valores de COT (0-5 cm) e o sistema de plantio convencional (SPC), os menores (0-5 e 5-10 cm). O SSD e a área de pastagem apresentaram maiores teores de COp (0-5 cm). No SPC verificaram-se os menores teores de COp em superfície e maiores em profundidade. Os menores teores de carbono das frações oxidáveis foram encontrados no SPC (0-10 cm). O SSD aumenta os teores de COT, COp e carbono oxidável (F1 e F4) na camada superficial quando comparado com o SPC. Este acarreta em teores de COT iguais aos da área de SSD em profundidade e ocasiona a diminuição dos teores de COam e do carbono oxidável da fração F4 em todas as profundidades avaliadas. Por meio da relação F1/F4 pode-se inferir que o SPC desfavorece o equilíbrio das frações F1 e F4, enquanto o SSD acarreta em valores similares aos das áreas sem interferência antrópica. As frações granulométricas e oxidáveis da MOS são eficientes para identificar mudanças ocasionadas no solo pelo manejo.

**PALAVRAS-CHAVES:** Carbono orgânico particulado. Frações oxidáveis. Sistema de semeadura direta. Sistema de preparo convencional.

### INTRODUÇÃO

A matéria orgânica do solo (MOS) é a componente chave da qualidade do solo, atuando nos processos que permitem a manutenção da capacidade produtiva, devido a sua influência nas propriedades edáficas. Dentre os diversos fatores que controlam os teores de MOS, tais como a textura, o clima, o tipo de vegetação e o manejo adotado, destaca-se, principalmente, a quantidade e qualidade dos resíduos vegetais depositados na superfície do solo (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009; CARVALHO et al., 2009; CARDOZO et al., 2010).

Em relação aos componentes da MOS que representam um bom indicador de sua qualidade, estão o carbono (C) oriundo das frações granulométricas (CONCEIÇÃO et al., 2005; LOSS et al., 2009a; 2011a; ROSSI et al., 2012) e o C oxidável (RANGEL et al., 2008; MAJUNDER et al., 2008; LOSS et al., 2009b, 2011b; BARRETO et al., 2011). Por meio do fracionamento granulométrico quantifica-se a matéria orgânica particulada (MOP) ou carbono orgânico particulado

(COp) e a matéria orgânica mineral ou carbono orgânico associado aos minerais (COam) (CAMPARDELLA; ELLIOTT, 1992), sendo que trabalhos recentes indicam que a MOP ou COp é uma fração eficiente em identificar mudanças provenientes de práticas de manejo ou da substituição de áreas naturais (florestas, pastagens) por cultivos (FIGUEIREDO et al. 2010; ALVAREZ et al., 2011; PEREIRA et al., 2012).

Em trabalho desenvolvido por Figueiredo et al. (2010), quantificando formas lábeis e estáveis da MOS em áreas de sistema de semeadura direta (SSD), sistema de preparo convencional (SPC) e uma área de Cerrado como referência, em Goiás, verificaram que as principais modificações decorrentes da substituição da vegetação de Cerrado por lavouras ocorreram na fração particulada (COp) e que entre os sistemas de cultivo avaliados, o SSD, para as condições edafoclimáticas do Cerrado, promoveu uma distribuição mais uniforme do COp no perfil do solo. Ainda segundo Figueiredo et al. (2010), há uma correlação negativa entre COp e COam, indicando que os processos de formação dessas frações são opostos. Ou seja, para que se

tenha maiores teores de CO<sub>am</sub> no solo é necessário que ocorra maior decomposição (diminuição) dos teores de CO<sub>p</sub> para posterior associação com os minerais do solo nos tamanhos de silte e argila.

O carbono oxidável é obtido por meio de diferentes concentrações de ácido sulfúrico, conforme método estabelecido por Chan et al. (2001). Estes autores propuseram uma modificação no método clássico de determinação do C desenvolvido por Walkley e Black (1934). No método original, o C era determinado pela utilização de uma única concentração de ácido sulfúrico (12 mol L<sup>-1</sup>) e, com a modificação proposta por Chan et al. (2001), foi possível separar quatro frações com graus decrescentes de oxidação, por meio da utilização de quantidades crescentes de ácido sulfúrico, sendo denominadas de frações F1, F2, F3 e F4, correspondendo, respectivamente, às concentrações de 3, 6, 9 e 12 mol L<sup>-1</sup> de ácido sulfúrico.

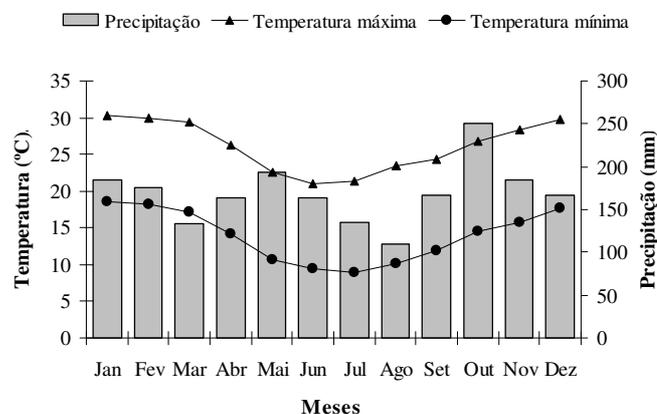
As frações F1 e F2 estão associadas com a disponibilidade de nutrientes e com a formação de macroagregados (BLAIR et al., 1995; CHAN et al., 2001), sendo a fração F1 a de maior labilidade no solo (LOSS et al., 2009b; BARRETO et al., 2011). Já as frações F3 e F4 estão relacionadas aos compostos de maior estabilidade química e massa molar, oriundos da decomposição e humificação da MOS (STEVENSON, 1994; RANGEL et al., 2008). A fração F4 é a mais resistente no solo, sendo denominada de “compartimento passivo” nos modelos de simulação da MOS, com tempo de reciclagem de até 2.000 anos (CHAN et al., 2001). Avaliando as frações oxidáveis de carbono orgânico de Latossolo cultivado com cafeeiro em MG, Rangel et al. (2008) encontraram maiores proporções do COT nas frações F1 e F2. Os autores atribuíram estas maiores proporções principalmente ao aporte e decomposição dos resíduos vegetais e culturais do cafeeiro.

Em estudo desenvolvido no Maranhão, com sistema de aléias formado por leguminosas de alta (leucena e guandu) e baixa (sombreiro e acácia) qualidade de resíduos vegetais (relação C/N), Loss et al. (2009b) compararam o aporte de matéria orgânica facilmente oxidável proveniente da combinação de resíduos dessas leguminosas utilizadas em sistemas de condução de culturas em aléias. Os autores verificaram que o tratamento acácia/guandu ofereceu maiores aportes de matéria orgânica facilmente decomponível (fração F1), enquanto o tratamento leucena/guandu propiciou maiores aportes de matéria orgânica mais resistente (fração F3 e F4).

Portanto, os estudos visando melhor compreensão da dinâmica das frações da MOS em áreas de cultivo com SSD, SPC e cobertura natural (floresta e pastagem) não ficam restritos apenas a avaliação dos teores de COT. Dessa forma, busca-se estudar os compartimentos da MOS, a fim de criar estratégias de manejo do solo que reduzam o impacto da agricultura sobre o ambiente e beneficiem as frações da MOS. Diante deste contexto, neste estudo objetivou-se quantificar o carbono orgânico total (COT), o carbono das frações granulométricas e oxidáveis da matéria orgânica do solo (MOS) em áreas sob diferentes sistemas de uso do solo, em Marmeleiro-PR.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em uma propriedade rural, em Marmeleiro, localizada na região Sudoeste do Paraná (26° 14' S e 53° 10' W). O clima da região é o subtropical (Cfa segundo Koppen), apresentando estações bem definidas, com invernos amenos e verões quentes, sendo a precipitação bem distribuída ao longo do ano, conforme conta na Figura 1.



**Figura 1.** Valores médios de precipitação pluviométrica e temperatura ocorridos na região de estudo. Fonte: IAPAR (2008).

O solo foi classificado como NITOSSOLO VERMELHO apresentando textura argilosa (530, 122 e 348 g kg<sup>-1</sup> de argila, areia e silte, respectivamente) e relevo suave ondulado

(Embrapa, 2006). A caracterização química da camada de 0-20 cm do solo é apresentada na Tabela 1.

**Tabela 1.** Caracterização química<sup>1</sup> do solo na camada de 0-20 cm nos diferentes sistemas de uso do solo em Marmeleiro, PR.

Atributos avaliados	Sistemas Avaliados			
	SSP	SPC	Floresta	Pastagem
pH H <sub>2</sub> O	6,28	5,99	6,03	4,98
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	7,66	6,8	12,64	3,05
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	4,18	5,5	3,23	2,02
K (mg dm <sup>-3</sup> )	170,32	163,23	145,63	323,72
P (mg dm <sup>-3</sup> )	7,63	6,06	5,19	6,98
N (g kg <sup>-1</sup> )	2,45	1,96	2,27	2,62
Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,0	0,0	0,0	1,07

<sup>1</sup>Conforme metodologia de Embrapa (1997). SPD = sistema de semeadura direta; SPC = sistema de preparo convencional do solo.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com quatro sistemas de uso (tratamentos): sistema de semeadura direta (SSD), sistema de preparo convencional (SPC), área de floresta e pastagem, em 4 repetições.

Os sistemas avaliados consistiram de quatro áreas, a saber:

- SSD com 15 anos, sendo nesta área utilizada a sucessão soja/azevém (S 26° 14' 29,9" e W 53° 10' 18,4", 753 m). Por ocasião do cultivo da soja, foi utilizado como adubação: 290 kg ha<sup>-1</sup> de 00:18:18 (semeadura). A cada 5 a 6 anos faz-se uma calagem na área de SSD, utilizando 1240 kg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico. O azevém é semeado em março e permanece na área até outubro, quando se faz a semeadura da soja sobre a palhada dessecada do mesmo.

- SPC do solo, com 56 anos, sendo esta área (S 26° 14' 59" e W 53° 10' 34", 740 m) manejada com aração e gradagem, com cultivo sempre com milho. Nos últimos 14 anos, a área vem sendo cultivada com fumo (safra normal) e na safrinha é feita a semeadura do milho. Após a colheita do milho, semeia-se aveia para o pastejo de gado de leite no inverno. Na área de SPC, utiliza-se 850 kg ha<sup>-1</sup> de 10:18:20 para o plantio do fumo, sendo 400 kg ha<sup>-1</sup> de uréia em cobertura.

- Uma área de floresta secundária (S 26° 14' 30" e W 53° 10' 17", 747 m) e outra de pastagem natural (*Axonopus compressus*) (S 26° 14' 57,6" e W 53° 10' 32,6", 713 m), ambas com mais de 30 anos, adjacentes às áreas cultivadas, foram tomadas como condição original do solo. Anteriormente, a área original era formada pela cobertura vegetal de Floresta Ombrófila Mista.

No momento da coleta das amostras, a área de SSD estava coberta com azevém e na área de SPC, havia sido feita aração e gradagem recentemente, sendo arado a camada de 0-30 cm e feito duas gradagens.

Os sistemas de uso do solo avaliados estavam sob as mesmas condições topográficas e edafoclimáticas. Dessa forma, delimitou-se uma área em torno de 600 m<sup>2</sup>, na qual foram abertas quatro trincheiras transversais às linhas de semeadura (SSD e SPC), para a coleta das amostras, realizadas em julho de 2008. Na área de pastagem, evitou-se as áreas onde observou-se a ação do gado e, na área de floresta, coletou-se no meio do fragmento localizado próximo as demais áreas. Foram amostradas as camadas de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm, sendo coletadas três amostras em cada profundidade amostrada, formando uma composta, com quatro repetições por sistema avaliado. Após a coleta, as amostras foram identificadas e acondicionadas em sacos plásticos, sendo em seguida, transportadas para o laboratório, secas ao ar e peneiradas a 2 mm de malha, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA).

O carbono orgânico total (COT) foi quantificado segundo Yeomans e Bremner (1988), onde foram pesadas 0,5 g das amostras de TFSA, macerada e passada pela peneira de 60 mesh. O material foi colocado em erlenmeyer de 250 mL, sendo em seguida, adicionados 5 mL de dicromato de potássio (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 0,167 mol.L<sup>-1</sup>) e 7,5 mL de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Posteriormente, aqueceu-se em bloco digestor à 170°C por 30 min. Em seguida, adicionou-se 80 mL de água destilada e 0,3 mL da solução indicadora (fenantrolina) para então titular

com a solução de Sulfato Ferroso amoniacal 0,2 mol.L<sup>-1</sup>.

Para o fracionamento granulométrico da MOS, 20 g de TFSA e 60 mL de solução de hexametáfosfato de sódio (5 g L<sup>-1</sup>) foram agitados durante 15 horas em agitador horizontal (CAMBARDELLA; ELLIOTT, 1992). A seguir, a suspensão foi passada em peneira de 53 µm com auxílio de jato de água. O material retido na peneira, que consiste no carbono orgânico particulado (COP) associado à fração areia, foi seco em estufa a 60°C, quantificado em relação a sua massa, moído em gral de porcelana e analisado em relação ao teor de COT segundo Yeomans e Bremner (1988). O material que passou pela peneira de 53 µm, que consiste no carbono orgânico associado aos minerais (COam) das frações silte e argila, foi obtido por diferença entre o COT e COP.

O fracionamento do carbono foi obtido por graus de oxidação (CHAN et al., 2001; RANGEL et al., 2008). Amostras de 0,5 g de TFSA foram acondicionadas em erlenmeyer de 250 mL, onde foi adicionado 10 mL K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 0,167 mol L<sup>-1</sup> e quantidades de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, correspondentes às concentrações de 3, 6, 9 e 12 mol L<sup>-1</sup>. A oxidação foi realizada sem fonte externa de calor e a titulação dos extratos foi feita com uma solução de Fe(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O 0,5 mol L<sup>-1</sup>, utilizando-se como indicador a fenantrolina. O fracionamento do

carbono produziu quatro frações, com graus decrescentes de oxidação:

- Fração muito facilmente oxidável (F1): C oxidado por K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> em meio ácido com 3 mol L<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>;

- Fração facilmente oxidável (F2): diferença entre o C oxidado por K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> em meio ácido com 6 e 3 mol L<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>;

- Fração moderadamente oxidável (F3): diferença entre o C oxidado por K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> em meio ácido com 9 e 6 mol L<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>;

- Fração resistente (F4): diferença entre o C oxidado por K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> em meio ácido com 12 e 9 mol L<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Os resultados foram analisados quanto à normalidade e homogeneidade dos dados através dos testes de Lilliefors e Cochran e Bartlett, respectivamente. A seguir foram submetidos à análise de variância com aplicação do teste F e os valores médios comparados entre si pelo teste LSD-student a 5%.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Carbono orgânico total do solo

Na camada de 0,0-5,0 cm observaram-se os maiores teores de COT na área de SSD e os menores para a área de SPC, sendo nesta área verificados os menores teores de COT também na camada de 5,0-10,0 cm (Tabela 2).

**Tabela 2.** Teores de carbono orgânico total (COT) do solo encontrados nos diferentes sistemas de uso do solo no ano de 2008, em Marmeleiro-PR.

Profundidade (cm)	Sistemas de uso do solo			
	0,0-5,0	5,0-10,0	10,0-20,0	20,0-40,0
	COT (g kg <sup>-1</sup> )			
SSD	43,38 A	29,73 B	18,35 B	16,05 B
SPC	19,39 C	18,74 D	17,70 B	15,21 B
Pastagem	39,12 B	37,88 A	25,08 A	22,25 A
Floresta	38,02 B	27,52 C	17,38 B	13,64 C
F calculado	19,25**	86,35**	44,43**	309,70**
CV(%)	3,21	3,70	6,20	2,91

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre as áreas avaliadas pelo teste LSD-student a 5%. CV= coeficiente de variação. \*\*Significativo a 1% pelo teste F.

Os maiores teores de COT encontrados nos primeiros centímetros na área de SSD são devidos ao uso de cobertura morta e da ausência de revolvimento do solo neste sistema. Estas práticas auxiliam na manutenção da umidade do solo e evitam o contato direto dos raios solares com o mesmo, diminuindo a temperatura na camada superficial do solo e, conseqüentemente, a mineralização da MOS (LOSS et al., 2009a). Padrão contrário a este foi verificado na área de SPC,

confirmando o efeito negativo das práticas de manejo (aração e gradagem) em relação aos menores teores de COT encontrados nessa área. Resultados semelhantes foram encontrados por Rosa et al. (2011) e Silva Neto et al. (2008), avaliando os teores de COT em solos de textura argilosa da região sul do Brasil, sob áreas de SSD e SPC. Esses autores verificaram que o SSD preservou os teores de COT e o SPC provocou perdas de COT na camada superficial do solo (0,0-5,0 cm).

As áreas de floresta e pastagem não diferiram entre si nos primeiros 5 centímetros. Entretanto, observou-se o efeito positivo do SSD em aumentar os teores de COT quando comparado com as áreas de floresta e pastagem (0-5 cm). Nas camadas subsuperficiais, os teores de COT foram superiores na área de pastagem e, a área de SPC apresentou valores de COT iguais aos observados nas áreas de SSD e floresta (10-20 cm) e maiores que os encontrados na área de floresta (20-40 cm). Estes resultados podem ser explicados pelo fato de as plantas forrageiras, tais como as gramíneas, depositarem grandes quantidades de material orgânico de maior relação C:N, por serem plantas de ciclo fotossintético  $C_4$  e, também, devido ao seu sistema radicular explorar maiores profundidades. Dependendo das condições locais e uso do solo, a conversão de floresta para pastagem pode não significar perda de carbono no solo, uma vez que espécies agressivas de gramíneas podem compensar as perdas iniciais com altas taxas de crescimento e rápido acúmulo de carbono na biomassa (FERNANDES et al., 1997; MORAES et al., 2008).

Os maiores teores de COT na área de SSD e pastagem quando comparados com a área de floresta secundária (5-10 e 20-40 cm) demonstram que o cultivo do solo na forma de SSD e o uso do solo com pastagem estão aumentando os teores de COT e, que a distribuição do carbono em profundidade aumentou como tendência de recuperar os teores originais semelhantes aos da área de floresta. Este padrão pode ser observado na profundidade de 10-20 cm, onde a área de SSD apresentou teores de COT iguais aos da área de floresta.

Os maiores valores de COT na área de SPC, em subsuperfície, devem-se ao revolvimento do solo, onde os resíduos vegetais depositados na superfície são incorporados em camadas mais profundas. Observa-se que os valores de COT no SPC não foram superiores aos encontrados na área de SSD, demonstrando que no SSD, os teores de COT em subsuperfície são decorrentes da manutenção da palhada e também da utilização do azevém como planta de cobertura. Estes resultados são corroborados por Rosa et al. (2011), onde os autores avaliaram os teores de COT em área de SSD (sucessão azevém/arroz irrigado) e SPC (arroz irrigado) no RS e verificaram diferenças entre os sistemas apenas nas camadas de 0,0-2,5 e 2,5-5,0 cm, sendo nas camadas de 5-10 e 10-20 cm, observados valores estatisticamente iguais entre os sistemas.

De maneira geral, os maiores teores de COT nas áreas de SSD, pastagem e floresta (0-10 cm) quando comparados com a área em SPC (Tabela 2),

indicam a eficiência dessas áreas em acumular carbono no solo com o passar dos anos. Destaca-se que o aporte vegetal (serapilheira) na área de floresta e o uso de gramíneas na área de pastagem ou como planta de cobertura de inverno para o SSD, associado ao não revolvimento do solo e a permanência dos resíduos culturais na superfície favorecem a agregação do solo. Dessa forma tem-se a proteção do COT no interior dos agregados, promovendo o aumento da MOS (SÁ et al., 2001; CONCEIÇÃO et al., 2005), o que não é favorecido no SPC (LOSS et al., 2011b).

### Fracionamento granulométrico da MOS

Os maiores teores de COP foram encontrados nas áreas de SSD (soja/azevém) e pastagem na camada superficial, com menores valores para a área de SPC. Nas demais camadas, a área de SPC apresentou os maiores resultados para COP, seguido das áreas de SSD e pastagem, sendo que para a profundidade de 20,0-40,0 cm, a área de SSD apresentou maiores teores de COP em comparação as áreas de floresta e pastagem (Tabela 3).

Os maiores valores de COP nas áreas de SSD e pastagem são decorrentes do uso do solo sem revolvimento na área de SSD com soja/azevém, pois a manutenção da palhada acarreta em acúmulo de resíduos vegetais na camada superficial do solo e o uso da gramínea azevém também favorece o aporte de resíduos vegetais por meio de seu sistema radicular, tanto em superfície como em profundidade, sendo este padrão também verificado na área de pastagem. Portanto, a utilização de gramíneas (azevém no SSD e *Axonopus compressus* na pastagem) promoveu o aumento dos teores de COP em detrimento aos demais sistemas de uso do solo avaliados na camada superficial do solo.

Na área de SPC, os menores teores de COP em superfície e maiores em profundidade, são um indício do efeito negativo das práticas de aração e gradagem, que incorporam os resíduos vegetais em maiores profundidades, acarretando em superfície, nos menores teores de COP. Em profundidade, padrão contrário a este foi verificado (Tabela 3). Estes resultados são semelhantes aos encontrados por Loss et al. (2009a), onde os autores avaliaram os teores de COP em sistemas de uso do solo com SSD e SPC. Os autores também encontraram menores teores de COP em superfície (0-5 cm) e maiores em profundidade para a área em SPC. Exceto para a área de SPC, os maiores teores de COP observados na área de SSD na profundidade de 20,0-40,0 cm e em superfície, onde os valores de COP foram iguais aos da área de pastagem e maiores que a área de

floresta, permitem inferir que o SSD apresenta maior estratificação dos resíduos vegetais, tanto em superfície como em profundidade. Estes resultados

estão de acordo com os encontrados por Sá e Lal (2009).

**Tabela 3.** Frações granulométricas da MOS nos diferentes sistemas de uso do solo em 2008, em Marmeleiro-PR.

Sistemas de uso do solo	Frações granulométricas da MOS (g kg <sup>-1</sup> )	
	COp	COam
0,0-5,0 cm		
SSD	28,97 A	14,40 B
SPC	17,73 C	1,66 D
Floresta secundária	19,80 B	18,21 A
Pastagem	29,10 A	10,02 C
F calculado	149,98**	27,68**
CV(%)	3,35	10,96
5,0-10,0 cm		
SSD	12,77 B	16,96 B
SPC	17,39 A	1,35 C
Floresta secundária	9,06 C	18,45 B
Pastagem	12,21 B	25,67 A
F calculado	53,92**	55,06**
CV(%)	4,79	6,16
10,0-20,0 cm		
SSD	8,32 B	10,02 B
SPC	15,46 A	2,22 C
Floresta secundária	5,81 C	11,57 B
Pastagem	9,53 B	15,53 A
F calculado	31,99**	18,25**
CV(%)	8,54	10,74
20,0-40,0 cm		
SSD	6,38 B	9,66 B
SPC	12,36 A	2,85 C
Floresta secundária	4,05 C	9,59 B
Pastagem	5,00 C	12,24 A
F calculado	13,19**	400,73
CV(%)	12,57	3,61

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

Avaliando a distribuição e estratificação vertical do carbono em solos sob diferentes manejos na região do pampa argentino, Alvarez et al. (2011) verificaram que houve substancial estratificação das reservas de carbono lábil nos locais sob SSD, indicando que, se a taxa de estratificação for realmente um indicador de qualidade de solos, as áreas sob SSD poderiam apresentar maior potencial de acúmulo de C, pelo menos nas camadas superficiais, em comparação as áreas sob SPC.

Para os teores de COam, a área com SPC apresentou os menores valores em todas as camadas avaliadas (Tabela 3). Estes resultados demonstram que o uso de práticas como aração e gradagem quebram os agregados do solo, expondo a matéria orgânica que estava protegida no seu interior. Dessa

forma, a matéria orgânica que estava associada às partículas de menor tamanho (argila e silte) é exposta ao ataque de microorganismos, sendo rapidamente mineralizada. Portanto, o preparo convencional do solo diminui os teores de COam e aumenta os teores de COp em profundidade.

Para os demais sistemas de uso do solo, os teores de COam, na profundidade de 0,0-5,0 cm, foram maiores na área de floresta, seguida da área de SSD e de pastagem, sendo nesta encontrado os menores teores de COam (Tabela 3). Nas áreas avaliadas, a área de SSD apresenta 15 anos de uso e as áreas de floresta e pastagem têm mais de 30 anos. A textura das áreas é a mesma (argilosa), sendo, portanto, as diferenças encontradas para COam decorrentes do manejo do solo.

Segundo Figueiredo et al. (2010), nas frações lábeis e estáveis da MOS sob diferentes sistemas de uso do solo, há uma correlação negativa entre COP e COam, indicando que os processos de formação dessas frações são opostos. Ou seja, para que se tenha maiores teores de COam no solo é necessário que ocorra maior decomposição (diminuição) dos teores de COP para posterior associação com os minerais do solo nos tamanhos silte e argila. Este padrão pode ser observado neste trabalho, pois a área de floresta apresentou os menores teores de COP e conseqüentemente, os maiores de COam (Tabela 3), indicando que parte do COP foi decomposto e passou a fazer parte do COam. Padrão contrário foi observado na área de SPC, independentemente do tempo de uso do sistema (56 anos).

A área de floresta não apresenta nenhuma influência antrópica, sendo portanto observado, segundo Campos et al. (2004), que a liberação de nutrientes pela liteira e a absorção de nutrientes pelas plantas ocorrem em sincronia, mantendo estáveis os teores de COT. Partindo dessa premissa, verificou-se que praticamente metade do COT é composto por COam e a outra metade por COP (Tabela 3, 0-5 cm). Portanto, há maior interação do material particulado com os argilominerais, acarretando num ambiente mais propício para a formação do COam.

Em contrapartida, em profundidade, verifica-se um predomínio do COam em comparação ao COP para a área de floresta e também para a área de pastagem. Padrão contrário a este observa-se na área de SSD, onde verifica-se uma distribuição mais equilibrada entre as frações granulométricas (COP e COam). Estes resultados indicam que na área de SSD, a palhada vegetal oriunda do azevém e dos resíduos culturais da soja é suficiente para manter os teores de COP e COam equilibrados. Além dos fatores relacionados à cobertura vegetal, tem-se o fator clima, que neste ambiente (Bioma Araucária, Paraná) acarreta em menor taxa de decomposição dos resíduos vegetais, sendo que estes permanecem por mais tempo na superfície do solo. Desta forma, a decomposição mais lenta dos resíduos vegetais, associada à deposição de palhada na área de SSD e, conseqüentemente, manutenção da umidade e temperatura do solo, favorece a interação do material particulado com os argilominerais, de maneira a propiciar uma distribuição mais homogênea das frações granulométricas em profundidade para a área de SSD quando comparada com as áreas de floresta e pastagem e, principalmente, ao SPC.

A área de SPC apresentou menores teores de COam em todas as profundidades (Tabela 3). Este padrão demonstra o efeito negativo das práticas de aração e gradagem, que rompem os agregados do solo e, dessa forma, tem-se a exposição da MOS, que estava protegida em seu interior, aos agentes microbianos (CAMBARDELLA; ELLIOTT, 1992), contribuindo para uma maior emissão de carbono para a atmosfera. Os demais sistemas apresentam grande potencial para o solo funcionar como um dreno, favorecendo o armazenamento de carbono nas frações mais finas (COam, silte + argila), as quais retêm a MOS, impedindo sua saída. Estes resultados são similares aos encontrados em outros trabalhos (Costa et al., 2008; Siqueira neto et al., 2009; Alvarez et al., 2011), onde as áreas cultivadas em SPC apresentam maiores emissões de carbono para a atmosfera quando comparadas com áreas menos mobilizadas, tais como as cultivadas em SSD ou sem interferência antrópica, como a área de pastagem natural e a floresta secundária.

#### **Fracionamento oxidável do COT**

Na profundidade de 0,0-5,0 cm, a área de pastagem apresentou maiores teores de carbono na fração F1, sendo para a fração F2 observado maiores teores na área de floresta e, para as frações F3 e F4, os maiores teores de carbono foram encontrados na área de SSD. A área de SPC apresentou os menores teores de carbono em todas as frações avaliadas (Tabela 4). Estes resultados demonstram que nas áreas sem influência antrópica (floresta e pastagem) há maiores aportes de materiais lábeis (serapilheira na floresta e raízes, principalmente finas, na pastagem) em detrimento a área de SSD. Entretanto, nesta área há um predomínio de frações mais recalcitrantes (F3 e F4), que podem estar sendo beneficiadas pelo sistema plantio direto, que propicia a manutenção da palhada.

Na área com SPC, as práticas de aração e gradagem desfavorecem a manutenção dos resíduos vegetais em superfície (0-5 e 5-10 cm) e aceleram a decomposição da MOS que estava protegida no interior dos agregados, culminando em menores teores de carbono nas frações F1, F2, F3 e F4 (Tabela 4).

Em profundidade (5,0-10,0; 10,0-20,0 e 20,0-40,0 cm) foram observados maiores teores nas frações mais estáveis (F3 e F4) para a área de pastagem. Tal fato pode ser devido ao sistema radicular da gramínea (grama missioneira - *Axonopus compressus*), que acarreta maiores teores de COT, com conseqüente estabilização das frações mais resistentes (F3 e F4). Padrão contrário a este

foi verificado na área de SPC, que apresentou os menores teores de carbono na fração F4 em profundidade. Estes resultados corroboram os menores teores de CO<sub>am</sub> encontrados nesta área

(Tabela 3), evidenciando o manejo inadequado (aração e gradagem) para a manutenção dos teores de carbono no interior dos agregados do solo.

**Tabela 4.** Frações oxidáveis de carbono orgânico nos diferentes sistemas de uso do solo em 2008, em Marmeleiro-PR.

Sistemas de uso do solo	Frações oxidáveis de carbono (g kg <sup>-1</sup> )				
	F1	F2	F3	F4	F1/F4
0,0-5,0 cm					
SSD	11,63 B	8,62 B	8,62 A	13,12 A	0,89 B
SPC	5,60 C	2,90 C	5,70 C	1,50 C	3,73 A
Floresta secundária	11,81 B	10,50 A	5,81 BC	10,12 B	1,17 B
Pastagem	13,87 A	8,25 B	6,00 B	11,43 B	1,21 B
F calculado	7,82*	7,15*	42,20**	6,97*	18,01**
CV (%)	7,17	9,87	7,10	9,84	8,69
5,0-10,0 cm					
SSD	9,28 B	4,40 A	4,41 C	10,78 B	0,86 C
SPC	5,40 C	2,60 C	6,00 B	1,50 D	3,60 A
Floresta secundária	10,12 A	3,80 B	4,59 C	9,18 C	1,10 B
Pastagem	9,60 AB	4,50 A	7,10 A	12,09 A	0,79 C
F calculado	5,61*	3,66*	48,03**	15,71**	6,61*
CV (%)	3,72	8,87	8,00	6,87	11,23
10,0-20,0 cm					
SSD	7,50 A	3,56 A	3,56 C	6,00 B	1,25 B
SPC	5,90 B	2,30 C	4,40 B	1,60 C	3,69 A
Floresta secundária	5,55 B	1,95 C	3,07 C	5,33 B	1,04 C
Pastagem	6,94 A	2,75 B	6,56 A	8,75 A	0,79 D
F calculado	17,09**	24,23**	46,53**	43,37**	14,22**
CV (%)	7,29	11,89	12,61	8,31	8,01
20,0-40,0 cm					
SSD	3,90 B	2,40 B	3,15 BC	4,72 C	0,83 B
SPC	4,50 A	1,90 C	3,60 B	0,90 D	5,00 A
Floresta secundária	3,22 C	1,25 C	2,77 C	6,67 B	0,48 C
Pastagem	4,19 AB	4,56 A	5,00 A	8,31 A	0,50 C
F calculado	16,66**	138,73**	50,20**	42,90**	23,32
CV (%)	6,84	10,33	9,23	8,34	9,26

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

Para as frações F1 e F2, na profundidade de 5,0-10,0 cm, a área de floresta apresentou os maiores teores de carbono oxidável para a F1 e menores para a F2 quando comparada com as áreas de pastagem e SSD. Entretanto, para as profundidades subsequentes, a área de floresta apresentou os menores teores de carbono nessas frações. Estes resultados indicam que as áreas de SSD e pastagem, em profundidade, adicionam mais matéria orgânica ao solo de maior labilidade, sendo este aporte oriundo do sistema radicular da grama missioneira na pastagem e do azevém, no SSD. Os maiores teores de carbono, em profundidade, para as áreas de SSD e pastagem são concordantes com os maiores teores de COT e COP encontrados nestas

áreas. A área de SPC apresentou os menores teores para as frações F1 e F2 (5-10 cm) e teores iguais aos da área de floresta em profundidade (Tabela 4).

Os maiores teores de carbono nas frações F1 e F2 nas profundidades de 10,0-20,0 e 20,0-40,0 cm verificados nas áreas de SSD e pastagem também podem estar relacionados com os maiores teores de K e N observados nessas áreas, pois a área de floresta apresentou os menores teores desses nutrientes em profundidade, sendo também verificados menores teores de K na área de preparo convencional na profundidade de 10-20 cm ([www.agrisus.org.br](http://www.agrisus.org.br)). As áreas de SSD e pastagem apresentam maiores teores de carbono nas frações mais lábeis, por meio de sua decomposição, os

nutrientes K e N podem ser liberados a partir da decomposição desses resíduos vegetais e, posteriormente utilizados pelas culturas comerciais.

Resultados semelhantes são relatados em trabalho desenvolvido na Índia por Manjuder et al. (2008). Os autores avaliaram as frações de carbono oxidáveis em sistema de cultivo de arroz e milho por 19 anos, utilizando adubação verde e uso de palhada, e verificaram que as frações mais lábeis (F1 e F2) podem ser consideradas como bons indicadores de sustentabilidade do sistema, uma vez que foram altamente correlacionadas com a produtividade das culturas de milho e arroz.

Os índices obtidos por meio da relação F1/F4 mais próximos a 1 (um) indicam melhor distribuição dos teores de carbono entre a fração mais lábil (F1) e mais recalcitrante (F4) no solo. Entretanto, para o referido índice, apesar de apresentarem diferenças significativas entre as áreas avaliadas em todas as profundidades, os valores obtidos estão todos próximos a 1 (exceção ao SPC) ou ligeiramente superiores, com exceção à profundidade de 20,0-40,0 cm que, para as áreas de pastagem e floresta, verificaram-se valores muito inferiores a 1, sendo abaixo de 0,50 (Tabela 4).

Para a profundidade de 0,0-5,0 cm, as áreas de pastagem (1,21) e floresta (1,17) apresentaram maiores índices (superiores a 1) que a área de SSD (0,89). Na profundidade subsequente (5,0-10,0 cm), as áreas de SSD e pastagem apresentaram valores inferiores a 1, sendo 0,86 e 0,79, respectivamente, e maiores valores na área de floresta. Este padrão indica que nas áreas com índices F1/F4 maiores que 1 (pastagem e floresta, 0,0-5,0 cm, e floresta, 5,0-10,0 cm) têm-se maiores teores de carbono na fração F1 quando comparadas com as áreas de SSD (0,0-5,0 e 5,0-10,0 cm) e pastagem (5,0-10,0 cm), que têm mais carbono na fração F4, pois seu índice foi inferior a 1.

Na profundidade de 20,0-40,0 cm verificaram valores de F1/F4 inferiores a 1 para todas as áreas (exceto SPC), sendo observados maiores valores para a área de SSD e índices similares entre as áreas de floresta e pastagem. Este padrão indica melhor distribuição do carbono das frações F1 e F4 para área de SSD quando comparada com as áreas de pastagem e floresta. Nestas áreas tem-se maiores proporções do carbono presente na fração F4, o que culmina nos menores índices encontrados nessas áreas em comparação aos maiores valores observados na área de SSD.

Em relação à área de SPC, esta apresentou maiores valores da relação F1/F4 em todas as profundidades. Entretanto, os valores encontrados são muito superiores a 1 (um) (Tabela 4), indicando um desequilíbrio entre a distribuição de carbono das frações F1 e F4 quando comparada com as demais áreas. Estes resultados são decorrentes do manejo inadequado (aração e gradagem) utilizado nesta área. Desta forma, tem-se menores proporções do carbono associado aos minerais (silte + argila, COam) e, conseqüentemente, do carbono da fração F4. Com o revolvimento do solo, tem-se maior aeração e incorporação dos resíduos culturais, maior atividade microbiana e acesso a MOS que estava protegida no interior dos agregados. Essa associação de fatores contribui para a diminuição dos teores de COam e da fração F4 e maiores teores de COP e carbono da fração F1.

## CONCLUSÕES

O sistema de semeadura direta (SSD) aumenta os teores de carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP) e carbono oxidável (frações F1 e F4) na camada superficial do solo quando comparado com o sistema de preparo convencional (SPC) do solo.

O SPC do solo acarreta em teores de COT iguais aos da área de SSD em profundidade e ocasiona a diminuição dos teores de COam e do carbono oxidável da fração F4 em todas as profundidades avaliadas.

Por meio da relação F1/F4 pode-se inferir que o SPC desfavorece o equilíbrio das frações F1 e F4, enquanto o SSD acarreta em valores similares aos das áreas sem interferência antrópica.

Por meio do carbono oriundo das frações granulométricas (COP e COam) e oxidáveis (F1, F2, F3 e F4) da MOS foi possível identificar mudanças ocasionadas no solo por meio dos diferentes sistemas de uso do solo, com ênfase nas áreas de SSD e SPC em todas as profundidades avaliadas.

## AGRADECIMENTOS

À Fundação Agrisus pelo apoio financeiro e também pela concessão da bolsa de iniciação científica ao terceiro autor, ao CPGA-CS pelo auxílio prestado e ao CNPq pela concessão de bolsa de Pós-Doutorado ao primeiro autor.

---

**ABSTRACT:** This study aimed to quantify the total organic carbon (TOC), granulometric and oxidizable carbon fractions of soil organic carbon (SOM) in areas under different land use in Marmeleiro, Paraná State, Brazil. We

collected soil samples in the 0-5, 5-10, 10-20 and 20-40 cm, and being these quantified to TOC, particulate organic carbon (POC), organic carbon associated minerals (OCam) and carbon fractions oxidizable (F1, F2, F3, F4 and F1/F4). The no-tillage system (NTS) had higher TOC values (0-5 cm) and the conventional tillage system (CTS), the lowest (0-5 and 5-10 cm). The NTS and the grazing area had higher concentrations of POC (0-5 cm). In the CTS there were the lowest levels of POC in surface and greater depth. The lower carbon content of oxidizable fractions were found in the CTS (0-10 cm). The NTS increase the TOC, and POC oxidizable carbon (F1, F4) in the surface layer when compared to the CTS. This leads to TOC area equal to the NTS in depth and leads to decreased amounts of carbon and OCam oxidizable fraction F4 in all experiments. Through the F1/F4 ratio can be inferred that the CTS disfavors the balance of fractions F1 and F4, while the NTS leads to values similar to those in areas without human interference. The granulometric and oxidizable fractions of SOM are efficient to identify changes in soil caused by management.

**KEYWORDS:** Particulate organic carbon. Oxidizable fractions. No-tillage system. Conventional tillage system.

---

## REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, C. R.; COSTANTINI, A. J.; BONO, A.; TABOADA, M. A.; BOEM, F. H. G.; FERNÁNDEZ, P. L.; PRYSTUPA, P. Distribution and vertical stratification of carbon and nitrogen in soil under different managements in the pampean region of Argentina. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 6, p. 1985-1994, 2011.
- BARRETO, P. A. B.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; FONTES, A. G.; POLIDORO, J. C.; MOÇO, M. K.; REBOUCA, R. C.; BALIGAR, V. C. Distribution of oxidizable organic C fractions in soils under cacao agroforestry systems in Southern Bahia, Brazil. **Agroforestry Systems**, Netherlands, v.81, n. 3, p. 213-220, 2011.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Org.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2ªed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.9-26
- 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 of Agricultural Research**, Collingwood, v.46, n.7, p.1459-1466, 1995.
- CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, n. 3, p. 777-783, 1992.
- CAMPOS, D. V. B.; BRAZ, S. P.; MACHADO, P. L. O. A.; SANTOS, G. A.; LIMA, E.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. **Mudança no conteúdo de matéria orgânica do solo sob a cultura de cana-de-açúcar e pastagem em Argissolo de Conceição da Barra – ES**. Rio de Janeiro: EMBRAPA. Seropédica, 2004. (Circular Técnica, 10). 4p.
- CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; SILVA, C. A.; CURI, N.; FREITAS, D. A. F. Estoques de carbono e nitrogênio em solo sob florestas nativas e pastagens no bioma Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, n.9, v.45, p.1028-1035, 2010.
- CARVALHO, J. L. N.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; PÍCCOLO, 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**, Amsterdam, v. 103, n. 2, p. 342-349, 2009.
- CHAN, K. Y.; BOWMAN, A.; OATES, A. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an oxic paleustalf under different pasture ley. **Soil Science**, New Brunswick, v.166, n.1, p. 61-67, 2001.

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 relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 777-788, 2005.

COSTA, F. S.; ZANATTA, J. A.; BAYER, C. **Emissões de gases do efeito estufa em agroecossistemas e potencial de mitigação**. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Org.). Fundamentos da matéria orgânica do solo - ecossistemas tropicais e subtropicais. 2 ed. Porto Alegre: Metropole, v. 1, p. 545-559. 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2ªed. Brasília: Embrapa Produção de informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 312p. 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FERNADES, E. C. M.; MOTAVALLI, P. P.; CASTILLA, C.; MUKURUMBIRA, L. Management control of soil organic matter dynamics in tropical land-use system. **Geoderma**, Amsterdam, v.79, n.1, p. 49-67, 1997.

FIGUEIREDO, C. C.; RESCK, D. V. S.; CARNEIRO, M. A. C. Frações lábeis e estáveis da matéria orgânica do solo sob sistemas de manejo e cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 907-916, 2010. [HTTP://www.agrisus.org.br](http://www.agrisus.org.br). Relatório para auxílio de pesquisas. Disponível em: [www.agrisus.org.br/arquivos/Relatorio\\_Final\\_PA737.pdf](http://www.agrisus.org.br/arquivos/Relatorio_Final_PA737.pdf)

LOSS, A. **Dinâmica da matéria orgânica, fertilidade e agregação do solo em áreas sob diferentes sistemas de uso no Cerrado goiano**. 2011. 134f. Tese (Doutorado em Agronomia - Ciência do Solo). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, E. M. R. Frações orgânicas e índice de manejo de carbono do solo em diferentes sistemas de produção orgânica. **Idesia**, Arica, v. 29, n. 2, p. 35-43, 2011a.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; BEUTLER, S. J.; FERREIRA, E. P.; SILVA, E. M. R. Oxidizable organic carbon fractions and soil aggregation in areas under different organic production systems in Rio de Janeiro, Brazil. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, Mérida, v. 14, n. 2, p. 699-708, 2011b.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, E. M. R. Carbono e frações granulométricas da matéria orgânica do solo sob sistemas de produção orgânica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 4, p. 78-83, 2009a.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; FERREIRA, E. P.; SANTOS, L. L.; BEUTLER, S. J.; FERRAZ-JUNIOR, A. S. L. Frações oxidáveis do carbono orgânico do solo em sistema de aléias sob Argissolo Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 867-874, 2009b.

MAJUMDER, B.; MANDAL, B.; BANDYOPADHYAY, P. K.; GANGOPADHYAY, A.; MANI, P.K.; KUNDU, A. L.; MAZUMDAR, D. Organic amendments influence soil organic carbon pools and rice-wheat productivity. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 72, n. 3, p. 775-785, 2008.

MORAES, L. F. D.; CAMPELLO, E. F. C.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A. Características do solo na restauração de áreas degradadas na reserva biológica de Poço das Antas, RJ. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 2, p.193-206, 2008.

PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; BEUTLER, S. J.; TORRES, J. L. R. Granulometric and humic fractions carbon stocks of soil organic matter under no-tillage system in Uberaba, Brazil. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, Mérida, v. 15, n. 1, p. 1-13, 2012.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A.; GUIMARÃES, P. T. G.; GUILHERME, L. R. G. Frações oxidáveis do carbono orgânico de Latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 2, p. 429-437, 2008.

ROSA, C. M.; CASTILHOS, R. M. V.; PAULETTO, E. A.; PILLON, C. N.; LEAL, O. A. Conteúdo de carbono orgânico em Planossolo Háplico sob sistemas de manejo do arroz irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 5, p. 1769-1776, 2011.

ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; GUIMARÃES, S. G.; BETTA, M.; POLIDORO, J. C. Frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 1, p. 38-46, 2012.

SÁ, J. C. M.; CERRI, C. C.; DICK, W. A.; LAL, R.; VENZKE FILHO, S. P.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. J. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 65, n. 5, p. 1486-1499, 2001.

SÁ, J. C. M.; LAL, R. Stratification ratio of soil organic matter pools as an indicator of carbon sequestration in a tillage chronosequence on a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 103, n. 1, p. 46-56, 2009.

SILVA NETO, L. F.; INDA JUNIOR, A. V.; BAYER, C.; DICK, D. P.; TONIN, A. T. Óxidos de ferro em Latossolos tropical e subtropical brasileiros em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 1873-1881, 2008.

SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. J.; VENZKE FILHO, S. P.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C. Rotação de culturas no sistema plantio direto em Tibagi (PR): Emissões de CO<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>O. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.4, p.1023-1029, 2009.

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P.; KOHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 76, n. 1, p. 39-58, 2004.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: Genesis, composition, reactions**. John Wiley and Sons: New York. 345p. 1994.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p. 743-755, 2009.

WALKLEY, A.; BLACK, A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, New Brunswick, v. 37, p. 29-38, 1934.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988.