

**PROJETO AGRISUS Nº:** PA 121013

**TÍTULO DA PESQUISA:** Fertilidade do solo, agregação e frações da matéria orgânica do solo em áreas com sistemas de manejo de longa duração na região oeste do Paraná (PR)

**INTERESSADO (COORDENADOR DO PROJETO):** Marcos Gervasio Pereira

**INSTITUIÇÃO: (COM ENDEREÇO, TEL E E-MAIL):** Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, BR 465 km 7, Departamento de Solos, Seropédica, Cep: 23897-000, tel 21 37873772, E-mail: mgervasiopereira01@gmail.com

**LOCAL DA PESQUISA:** Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

**VALOR FINANCIADO PELA FUNDAÇÃO AGRISUS:** 4.800,00

**VIGÊNCIA DO PROJETO:** 13/09/2013 a 30/10/2014

---

## **RESUMO DO RELATÓRIO**

O objetivo do projeto de pesquisa foi avaliar as variações no estoque de carbono orgânico total, os atributos químicos e a agregação do solo em diferentes sistemas de manejo de longa duração sob Latossolo Vermelho eutrófico na região oeste do Paraná. Como principal resultado destaca-se que há aumento de carbono orgânico total nas áreas de sistema de plantio direto nas camadas superficiais, evidenciando aumento gradual lento no sistema de sucessão soja, milho/trigo, o que demonstra o efeito benéfico desse sistema.

## **RELATÓRIO FINAL DA PESQUISA**

### **INTRODUÇÃO**

Uma característica importante para analisar no sistema plantio direto (SPD) é avaliar o padrão com o tempo de adoção. Sá et al. (2004) ressaltaram a importância do tempo de adoção do SPD para que as alterações tais como acúmulo de matéria orgânica do solo (MOS), agregação e ciclagem de nutrientes se processem. Segundo Anghinoni (2007), o SPD nos primeiros 5 anos de uso, está na fase inicial de adoção do sistema, onde se tem baixos teores de MOS, menor acúmulo de palhada, restabelecimento da atividade microbiana, e à medida que aumenta o tempo de adoção (5-10 anos, fase de transição; 10-20 anos, fase de consolidação e mais de 20 anos, fase de manutenção) têm-se a melhoria dos atributos edáficos quando manejado de forma correta.

O SPD engloba uma série de técnicas que preconizam a semeadura direta sobre os resíduos vegetais de plantas de cobertura, sem o revolvimento do solo. Para atingir seu potencial de benefícios, o SPD deve ser acompanhado de rotação de culturas, onde estejam incluídas as espécies vegetais melhoradoras/condicionadoras do solo. Essas espécies devem compor um sistema agrícola que apresente eficiente cobertura do solo e ciclagem de nutrientes, conseqüentemente ocorrerão incrementos dos estoques de carbono e nitrogênio, aumento dos níveis de fertilidade do solo, controle de plantas invasoras e melhoria das propriedades físico-hídricas, químicas e biológicas do solo, refletindo assim na produtividade das culturas subsequentes (CARVALHO et al., 2007).

Porém, em algumas regiões brasileiras, o sistema de rotação de culturas não é efetuado em sua plenitude, principalmente devido às condições impostas pelo meio, principalmente o fator econômico, fazendo com que os produtores tenham um pensamento imediatista, ou seja, implantam culturas visando o retorno econômico imediato, como ocorre na região oeste do estado do Paraná, onde na grande maioria das áreas se cultiva apenas a sistema de sucessão de culturas de soja (verão) e milho/trigo (inverno). Assim, o acúmulo e decomposição da palhada ocorrem de maneira diferenciada, sendo diferente de região para região em função das condições climáticas e a dinâmica da produção. Isto pode explicar os baixos rendimentos encontrados em algumas áreas, problemas com relação à conservação do solo e durabilidade da produção vegetal.

Estudos como os de Bertol et al. (2004), Aita et al. (2001), Aita e Giacomini (2003), Torres et al. (2005), Longo & Espindola (2000), Boer et al. (2007; 2008), Gama-Rodrigues & Gama Rodrigues (2008), conduzidos em diferentes condições edafoclimáticas, têm demonstrado os efeitos benéficos das plantas de cobertura, decorrentes da produção de fitomassa, acúmulo e posterior liberação de nutrientes por decomposição da palhada, nas propriedades do solo e no rendimento das culturas que posteriormente são cultivadas.

Níveis adequados de MOS auxiliam na manutenção da fertilidade e, minimizam os impactos agrícolas sobre o meio ambiente pelo sequestro de carbono (BERNOUX et al., 1999). Práticas de manejo do solo que visam minimizar a perturbação e maximizar as entradas de carbono aumentam os estoques de carbono orgânico e, conseqüentemente, a produtividade das culturas, reduzindo ainda, as taxas de decomposição e as emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera (BRONICK & LAL, 2005). Assim, estudos visando a avaliação da magnitude destes mecanismos são fundamentais para o entendimento da dinâmica da MOS e conseqüente melhoria na fertilidade do solo (BERNOUX et al., 1999).

O impacto dos sistemas de manejo sobre a dinâmica da MOS, ou em outras palavras, sobre o ciclo do carbono orgânico (C) do solo nos agroecossistemas merece especial atenção. Sistemas de manejo capazes de manter e/ou até mesmo incrementar o C no solo, a exemplo do SPD podem contribuir para a manutenção da capacidade produtiva das áreas agrícolas (ZOTARELLI, 2005).

Dentre os componentes da MOS que representam bons indicadores de sua qualidade, estão o C da fração leve (XAVIER et al., 2006) e o C e nitrogênio (N) da matéria orgânica particulada (CONCEIÇÃO et al., 2005). A agregação do solo também representa um bom indicador, principalmente os agregados maiores que 2,00 mm. Em solos tropicais e subtropicais, a MOS tem grande importância para o fornecimento de nutrientes às culturas, favorecendo também a retenção de cátions, a complexação de elementos tóxicos e de micronutrientes, propiciando melhorias na agregação do solo, no fluxo da água, aeração e atividade biológica (BAYER & MIELNICZUK, 2008). Desta forma, a disponibilidade de métodos práticos e eficientes para avaliar a dinâmica do carbono se faz necessária (CAMPOS, 2006).

A matéria orgânica leve (MOL) é uma fração ativa no solo, sendo constituída por resíduos orgânicos parcialmente humificados em vários estádios de decomposição (JANZEN et al., 1992). A MOS pode ser fracionada quimicamente e fisicamente. No fracionamento químico, a MOS humificada é composta por diferentes frações de acordo com sua solubilidade, sendo separada em humina (HUM), ácidos húmicos (AH) e ácidos fúlvicos (AF). O estudo destas frações separadamente em sistemas de manejo de curta e longa duração, trazem resultados mais detalhados em relação à qualidade da MOS em função da forma em que essas áreas são conduzidas (CANELLAS et al., 2001), como observado em alguns estudos na região sudeste (LOSS et al., 2011), sul (CAMPOS, 2006) e centro oeste (ROSCOE & MACHADO, 2002; BENITES et al., 2003).

O fracionamento físico baseia-se na separação da fração orgânica com relação ao seu tamanho de partícula (peneiramento) e/ou densidade (líquidos densos). O fracionamento granulométrico (peneiramento) consiste na separação de duas frações orgânicas: o carbono da matéria orgânica particulada (C-MOP), e o carbono da matéria orgânica associada aos minerais (C-MOM) (CAMBARDELLA & ELLIOTT, 1992). O fracionamento densimétrico permite a obtenção da fração leve livre (FLL), separada mediante agitação branda em líquido de densidade conhecida, da fração leve oclusa (FLO) separada após a dispersão completa dos agregados, e ainda, da fração pesada (FP) (ROSCOE & MACHADO, 2002).

A MOS é um dos principais agentes agregantes (CHENU et al., 2000) e, a diminuição do seu conteúdo pelo cultivo contínuo, é uma das maiores causas da degradação da estrutura do solo (WENDLING et al., 2005). A utilização de sistemas de cultivo que promovam incrementos de MOS, como o SPD, pode contribuir para o aumento da estabilidade de agregados e, melhoria da qualidade física do solo (BHATTACHARYYA et al., 2009). Além disso, o processo de agregação também é responsável pelo sequestro do carbono, em função da formação de complexos organominerais estáveis (LAWAL et al., 2009), afetando as emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera (BRONICK & LAL, 2005). Six et al. (2004) enfatizam a importância da pesquisa sobre o processo

de formação de agregados em relação a MOS. O entendimento das relações entre agregados, microrganismos e a MOS é muito importante, pois, ajuda a prever possíveis mudanças no sistema solo.

A adoção de práticas conservacionistas, como o SPD aumentou consideravelmente durante as últimas décadas (DIMASSI et al., 2013). Com relação aos atributos químicos, sistemas manejados de forma correta podem promover aumento nos teores e estoques de COT (PLAZA-BONILLA et al., 2010), além do incremento nos teores das bases trocáveis e fósforo, principalmente nas camadas superficiais com o decorrer do tempo de implantação do sistema (DALCHIAVON et al., 2012). Umakant et al. (2010) encontraram relações significativas entre o tempo de adoção do SPD e estoques de C e melhoria da fertilidade do solo.

Uma das estratégias utilizadas para avaliar as alterações do solo em decorrência do tipo de uso e de técnicas de manejo é a avaliação de atributos do solo, comparando solos manejados e sem manejo, sob vegetação natural (BARROS & COMERFORD, 2002). Assim, estudos de longa duração em solos brasileiros são importantes para melhor elucidar como o uso contínuo do cultivo de grãos em SPD sobre resíduos de plantas de coberturas (soja e milho/trigo) modificam a dinâmica da MOS, fertilidade e agregação do solo. Desta maneira, o objetivo do trabalho foi avaliar as variações no estoque de carbono orgânico total, os atributos químicos e a agregação do solo em diferentes sistemas de manejo de longa duração sob Latossolo Vermelho eutroférico na região oeste do Paraná.

## **MATERIAL & MÉTODOS**

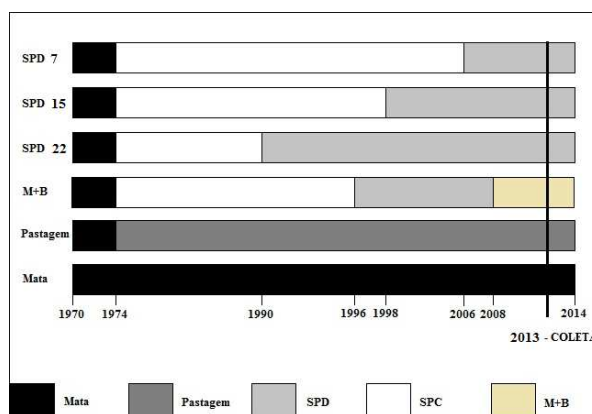
O estudo foi realizado em sistemas produtivos explorados comercialmente e conduzidos em propriedades rurais no município de Guaíra-PR, em diferentes sistemas de manejo com histórico conhecido de longa duração. O clima da região segundo classificação de Koppen, pertence ao tipo subtropical (Cfa) (temperado úmido com verão quente). Segundo o levantamento detalhado de solos do estado do Paraná (EMBRAPA, 2007), todas as áreas se encontram sob Latossolo Vermelho eutroférico, textura muito argilosa (EMBRAPA, 2013).

### **Sistemas de manejo avaliados e histórico de uso**

Foram avaliadas cinco áreas manejadas e uma área de referência (mata nativa) sem ação antrópica, perfazendo seis sistemas de manejo diferenciados (Figura 1). As cinco áreas manejadas compreendem: áreas com diferente tempo de adoção do sistema plantio direto (SPD): a. 7 anos (fase de transição), b. 15 anos (fase de consolidação), c. 23 anos (fase de manutenção) (ANGHINONI, 2007), d. 20 anos, sendo nos últimos 5 anos com integração milho safrinha e *Brachiaria* (M+B) e

uma área de pastagem permanente coast-cross (*Cynodon dactylon*). A descrição detalhada encontra-se na Tabela 1.

Todas as áreas após a conversão do sistema de plantio convencional para SPD são cultivadas com o passar do tempo de adoção (Figura 1) com a sucessão de culturas de soja (verão) e milho/trigo (inverno), com exceção da área de integração M+B, que na qual a *Brachiaria* foi introduzida com o milho com o intuito de maior produção de palhada para o cultivo da soja subsequente. Em todas as áreas de SPD com sucessão soja (verão) e milho/trigo (inverno), as adubações utilizadas nos últimos anos de cultivo para as culturas foi de 270 kg ha<sup>-1</sup> de 02-20-18 e inoculação com *Bradyrhizobium japonicum* e 270 kg ha<sup>-1</sup> de 10-15-15 respectivamente, e aplicação de calcário a cada quatro anos, na dose de 1,7 Mg ha<sup>-1</sup> com exceção da área de SPD 15 anos, que após a conversão do sistema de semeadura (convencional/SPD), não recebeu práticas de correção do solo. A área cultivada com pastagem permanente coast-cross (*Cynodon dactylon*), possui histórico de lotação de animais na área de 3,5 UA ha<sup>-1</sup>, não sendo realizada nenhuma prática de correção ou adubação durante todo o período de implantação.



**Figura 1.** Histórico dos usos e processos de mudança do uso do solo, com as respectivas datas de implantação em cada sistema de manejo. SPC: sistema de preparo convencional; SPD: sistema plantio direto; SPD+B: sistema plantio direto com integração com pastagem do gênero *Brachiaria*.

**Tabela 1.** Histórico e descrição das áreas experimentais (sistemas de manejo) estudadas sob Latossolo Vermelho eutroférico na região oeste do estado do Paraná

Sistema de manejo	Descrição
SPD 7 anos	Área situada a 270 metros de altitude, localizada à 24°09'092'' sul e 54°13'368'' oeste. SPD (7 anos – fase de transição). Área total de 20 ha.
SPD 15 anos	Área situada a 298 metros de altitude, localizada à 24°09'938'' sul e 54°14'190'' oeste. SPD (15 anos – fase de consolidação). Área total de 17 ha.
SPD 23 anos	Área situada a 297 metros de altitude, localizada à 24°15'454'' sul e 54°10'361'' oeste. SPD (23 anos – fase de manutenção). Área total de 40 ha.
Milho+ <i>Brachiaria</i> (M+B)	Área situada a 281 metros de altitude, localizada à 24°09'136'' sul e

	54°13'676'' oeste. SPD, com integração milho+ <i>Brachiaria</i> . Área total de 20 ha.
Pastagem	Área situada a 302 metros de altitude, localizada à 24°11'025'' sul e 54°12'449'' oeste. Área total de 2 ha.
Mata	Área sob vegetação de mata nativa (Mata Atlântica – Floresta Estacional Semidecidual) situada a 295 metros de altitude, localizada à 24°11'029'' sul e 54°11'898'' oeste utilizada como referencial. Área total de 2 ha.

---

## Amostragens de solo e análises laboratoriais

### Análise estratificada das camadas superficiais do solo

Foram delimitadas cinco parcelas de 600 m<sup>2</sup> dentro de cada uma das áreas de estudo, sendo coletadas amostras nas profundidades de 0-0,05, 0,05-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,4 m em cinco amostras compostas, sendo individualmente formadas por dez amostras simples. As análises granulométricas, pH em água, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, Na<sup>+</sup>, Al<sup>+3</sup>, H+Al, K<sup>+</sup>, N e P assimilável, efetuadas segundo métodos de rotina descritos em Embrapa (1997).

Para a realização das análises dos atributos físicos do solo, as amostras foram coletadas em cinco pontos (glebas) em cada área, dentro dos seis sistemas de manejo, nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,4 m. Para as análises granulométricas, densidade de partículas (Dp) e argila dispersa em água (ADA) e, posterior cálculo do grau de floculação (GF) foram coletadas amostras deformadas nestas mesmas áreas, com cinco repetições, sendo cada amostra composta formada por dez amostras simples. Para a determinação da densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macro e microporosidade pelo método do anel volumétrico em mesa de tensão, foram coletadas amostras indeformadas com auxílio de anel volumétrico de 46,2 cm<sup>3</sup> (EMBRAPA, 1997). A partir dos resultados da Pt, foi calculada a relação macroporos/volume total de poros (MA/VTP) (TAYLOR; ASHCROFT, 1972). A resistência do solo à penetração (Rp) e a umidade volumétrica foram quantificadas em amostras saturadas e após 24 horas em mesa de tensão (capacidade de campo) com a utilização de penetrógrafo de bancada modelo MA-933.

O COT foi determinado segundo metodologia de Yeomans & Bremner (1988). A partir dos resultados obtidos foram calculados os estoques de COT (ELLERT & BETTANY, 1995; SISTI et al., 2004). Para verificar tendências de acúmulo ou perda de COT em comparação com o sistema de referência, foi calculada a variação do estoque de COT em relação à mata nativa ( $\Delta\text{EstC}$ , Mg ha<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup>), sendo obtida pela diferença entre os valores médios de EstC neste sistema e em cada um dos demais, dividida pela espessura (cm) de cada camada; índice este, considerado relevante para auxiliar a interpretação dos valores de EstC nas diferentes camadas e perfil do solo (D'ANDREA et al., 2004).

Com os resultados de COT, calculou-se também o índice de estratificação do carbono (IE),

que se baseia na relação entre os teores de COT da camada superficial em relação às camadas inferiores. Valores superiores a um indicam acúmulo de C na superfície, sendo maior quanto mais distante da unidade, indicando assim, melhor qualidade do solo. A existência de valores inferiores a 1 indica que o sistema está perdendo qualidade (FRANZLUEBBERS, 2002).

O carbono oxidável do solo foi avaliado segundo metodologia proposta por Chan et al. (2001) que se baseia nos diferentes graus de oxidação do C. Este fracionamento produziu quatro frações, com graus decrescentes de oxidação: F1, F2, F3 e F4. O fracionamento químico da MOS realizado pela técnica da solubilidade diferencial (BENITES et al., 2003) e os teores de C em cada uma das frações avaliados segundo Yeomans & Bremner (1988). Posteriormente sendo calculados os estoques de C de cada fração húmica (ELLERT & BETTANY, 1995; SISTI et al., 2004), calculando posteriormente suas respectivas relações.

Aliado a todas essas análises, após a colheita do milho em Julho/Agosto de 2013 foram coletadas amostras de matéria seca (MS) das áreas manejadas com o propósito de quantificação da quantidade de MS ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) aportada nos diferentes sistemas de manejo.

Os resultados foram analisados quanto à normalidade e homogeneidade dos dados pelos testes de Lilliefors e Cochran & Bartlett, respectivamente. Posteriormente analisados como delineamento inteiramente casualizado. Os resultados obtidos serão submetidos à análise de variância com aplicação do teste F e os valores médios comparados entre si pelo teste Tukey a 5%.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Atributos físicos**

Na Tabela 2 pode-se observar que todas as áreas possuem teores de argila acima de  $600 \text{ g kg}^{-1}$ , sendo classificadas como de textura muito argilosa. As análises de argila dispersa em água (ADA) e, posteriores cálculos do grau de floculação (GF) inferem o grau de agregação do solo (EMBRAPA, 1997), sendo que na camada de 0-0,05 m, observaram-se valores superiores para o GF nas áreas de pastagem e mata, 85 e 86%, respectivamente, diferindo das áreas de SPD 7 e M+B. Com exceção da camada de 0-0,05 m para a área sob SPD 15, as áreas de SPD 15 e SPD 23 foram semelhantes à mata nativa para a ADA. Para todos os sistemas de manejo e camadas, os valores de Dp variaram de 2,72 a  $2,84 \text{ g cm}^{-3}$ , valores semelhantes àqueles obtidos por Lourente et al. (2011) sob Latossolo Vermelho distroférico típico. Observam-se valores numéricos inferiores para a Dp principalmente nas duas primeiras camadas para a área de mata. Um fator que contribui para a redução da densidade média das partículas (Dp) é o teor de MOS (BRADY; BUCKMAN, 1983).

Para a macroporosidade, foram observados em todas as camadas, valores superiores na área de mata, variando de  $0,23$  a  $0,30 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , com exceção para a área de SPD 7 na camada de 0-0,05

m, que apresentou resultado semelhante à área de mata (Tabela 3). Foi observada uma tendência de redução da macroporosidade em profundidade, especialmente nas áreas manejadas em SPD, apresentando valores de  $0,08 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  na camada de 0,1-0,2 m na área de SPD 7. A mesma tendência em redução da macroporosidade em áreas manejadas também foi evidenciada por Torres et al. (2011) em áreas de SPD e pastagem permanente, em comparação com área de vegetação natural.

**Tabela 2.** Análise granulométrica, argila dispersa em água (ADA), grau de floculação (GF) e densidade de partículas (Dp) nos sistemas de manejo com diferentes tempos de implantação na região oeste do Paraná, 2013.

Sistema de manejo	Areia	Silte	Argila	ADA	GF	Dp
	-----g kg <sup>-1</sup> -----				%	g cm <sup>-3</sup>
	0-0,05 m					
SPD 7	170	216	614	152a	75b	2,77
SPD 15	145	186	669	152a	77ab	2,75
SPD 23	101	276	623	102abc	84ab	2,77
M+B	173	209	618	146ab	76b	2,80
Pastagem	86	292	623	90bc	85a	2,79
Mata	118	265	617	86c	86a	2,72
CV(%)				23,6	5,7	
	0,05-0,1 m					
SPD 7	167	220	613	152a	75a	2,79
SPD 15	145	157	698	164a	76a	2,78
SPD 23	101	271	628	120a	81a	2,79
M+B	170	210	619	151a	76a	2,82
Pastagem	87	293	620	142a	77a	2,80
Mata	125	256	620	112a	82a	2,74
CV(%)				23,2	6,8	
	0,1-0,2 m					
SPD 7	142	202	657	191a	71b	2,81
SPD 15	126	150	724	169abc	77ab	2,82
SPD 23	92	267	641	131bc	80a	2,80
M+B	157	218	626	185ab	71b	2,84
Pastagem	86	300	614	153abc	75ab	2,83
Mata	104	282	614	123c	80a	2,76
CV(%)				18,7	5,4	
	0,2-0,4 m					



SPD 7	124	209	667	163b	76a	2,82
SPD 15	104	141	755	183ab	76a	2,84
SPD 23	81	256	663	145b	78a	2,82
M+B	129	227	645	186ab	71ab	2,84
Pastagem	74	227	700	228a	68b	2,84
Mata	97	196	707	161b	77a	2,80
CV(%)				16,1	4,9	

Médias seguidas de letras iguais, na coluna em cada profundidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Apesar de não terem sido obtidas diferenças para a camada de 0-0,05 m nas áreas de SPD 15 e SPD 23, houve uma tendência de diminuição na macroporosidade em função do tempo de implantação do SPD. O mesmo se observa para os valores de microporosidade, especialmente nas camadas de 0-0,05 e 0,05-0,1 m, além de serem superiores aos valores da área de mata. Segundo Viana et al. (2011) a drástica redução da macroporosidade nos solos cultivados decorre da maior intensidade de compactação pelo tráfego intensivo de máquinas. Essa tendência também é observada para a Pt, onde não foram verificadas diferenças na camada de 0-0,05 m nas áreas avaliadas. Para as demais camadas, observam-se maiores valores na área de mata, não diferindo das áreas de pastagem nas três primeiras camadas, e M+B na última camada avaliada.

**Tabela 3.** Porosidade (macro, micro e total), densidade, resistência à penetração e umidade do solo nos sistemas de manejo com diferentes tempos de implantação na região oeste do Paraná, 2013.

Sistema de manejo	Porosidade do solo ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ )			Relação MA/VTP	Densidade ( $\text{Mg m}^{-3}$ )	Resistência à penetração (MPa)		Umidade $\theta$ ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )	
	Macro	Micro	Total			R <sub>ps</sub>	R <sub>p24</sub>	UM <sub>s</sub>	UM <sub>24</sub>
0-0,05 m									
SPD 7	0,23ab	0,36b	0,59a	0,39	1,22a	0,34c	0,79b	0,57a	0,36b
SPD 15	0,20bc	0,39ab	0,59a	0,34	1,21a	0,41bc	0,69b	0,57a	0,39ab
SPD 23	0,19bc	0,40ab	0,59a	0,32	1,15a	0,60b	0,82b	0,58a	0,40ab
M+B	0,14bc	0,37ab	0,51a	0,27	1,30a	1,25a	1,63a	0,49a	0,37ab
Pastagem	0,14c	0,42a	0,56a	0,25	1,15a	1,34a	1,53a	0,54a	0,43a
Mata	0,30a	0,27c	0,57a	0,52	0,80b	0,08d	0,29c	0,56a	0,27c
CV (%)	23,6	8,3	7,6		8,3	14,6	8,5	7,9	8,4
0,05-0,1 m									
SPD 7	0,12b	0,39a	0,51bc	0,23	1,46a	0,88b	1,51cd	0,50b	0,39a
SPD 15	0,13b	0,39ab	0,52bc	0,25	1,42a	1,10b	1,30d	0,50b	0,38ab
SPD 23	0,09b	0,41a	0,50c	0,18	1,37ab	1,78a	2,09a	0,49b	0,41a
M+B	0,1b	0,41a	0,51bc	0,20	1,46a	1,51a	1,79b	0,50b	0,41a
Pastagem	0,15b	0,41a	0,56ab	0,27	1,20b	0,84b	1,58bc	0,54ab	0,41a
Mata	0,26a	0,33b	0,59a	0,44	0,99c	0,25c	0,64e	0,57a	0,33b
CV (%)	29,6	7,6	5,2		8,1	15,8	9,2	5,6	7,7
0,1-0,2 m									
SPD 7	0,08c	0,41a	0,49c	0,16	1,53a	1,39b	1,53b	0,48c	0,41a
SPD 15	0,12bc	0,40a	0,52bc	0,23	1,38b	1,09c	1,31b	0,51bc	0,40a
SPD 23	0,09bc	0,40a	0,49c	0,18	1,37b	1,61a	1,82a	0,48c	0,40a
M+B	0,09bc	0,41a	0,50c	0,18	1,47ab	1,62a	1,91a	0,49c	0,41a
Pastagem	0,15b	0,39a	0,54ab	0,28	1,23c	0,97c	1,50b	0,53ab	0,40a

Mata	0,25a	0,33b	0,58a	0,43	1,11c	0,30d	0,89c	0,56a	0,33b
CV (%)	22,7	5,7	3,7		4,8	10,1	9,8	3,8	5,5
					0,2-0,4 m				
SPD 7	0,09b	0,44a	0,53b	0,17	1,44a	0,96b	1,13b	0,52a	0,45a
SPD 15	0,12b	0,41ab	0,53b	0,23	1,37ab	0,89bc	1,24b	0,52a	0,41ab
SPD 23	0,11b	0,41ab	0,52b	0,21	1,28bc	0,77cd	1,08b	0,51a	0,42ab
M+B	0,11b	0,43ab	0,54ab	0,20	1,49a	1,46a	1,63a	0,53a	0,43ab
Pastagem	0,13b	0,40b	0,53b	0,24	1,23bc	0,69d	1,21b	0,51a	0,40b
Mata	0,23a	0,33c	0,56a	0,41	1,12c	0,26e	0,75c	0,53a	0,33c
CV (%)	16,3	5,8	3,0		6,3	9,9	7,4	5,5	5,9

Médias seguidas de letras iguais, na coluna em cada profundidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). Rps e Rp24: Resistência do solo à penetração em amostras saturadas e após 24 horas em mesa de tensão respectivamente. UMs e UM24: umidade do solo em amostras saturadas e após 24 horas em mesa de tensão respectivamente.

Em todas as camadas, as áreas sob M+B e pastagem apresentaram valores da relação MA/VTP inferiores a  $0,33 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , valor mínimo, considerado ideal para o desenvolvimento das culturas (TORRES et. al., 2011). Para os diferentes tempos de adoção do SPD foram observados valores inferiores nas camadas subsuperficiais, chegando a  $0,18 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  para o SPD 23 nas camadas de 0,05-0,1 e 0,1-0,2 m, e de 0,16 e  $0,17 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  para a área de SPD 7 nas camadas de 0,1-0,2 m e 0,2-0,4 m, respectivamente. Esse padrão difere do observado da área de mata, onde os valores dessa relação variaram de 0,41 a  $0,52 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ . Já na camada de 0-0,05 m, com a redução dos macroporos e elevação nos microporos devido ao aumento do tempo de adoção do SPD ocorreu diminuição da relação MA/VTP.

Para a Ds, a área de mata apresentou valores inferiores, diferindo das cinco áreas manejadas, especialmente nas duas primeiras camadas, chegando a  $0,80 \text{ Mg m}^{-3}$  na camada de 0-0,05 m. Esse fato deve-se à ausência de qualquer tipo de manejo de solo ou pastoreio animal nessa área, e em razão da vegetação existente, que proporciona elevada presença de raízes. De modo geral, observa-se aumento na Ds das áreas manejadas, principalmente nas camadas subsuperficiais, atingindo  $1,53 \text{ Mg m}^{-3}$  para a camada de 0,1-0,2 m na área SPD 7, fato igualmente verificado por Viana et al. (2011) em áreas cultivadas comparadas com mata nativa. Dimassi et al. (2013) em experimento de longa duração (20 anos) sob SPD, encontraram valores de  $1,50 \text{ Mg m}^{-3}$  na camada de 0,1-0,2 m, próximo ao valor de  $1,60 \text{ Mg m}^{-3}$  considerado crítico para o desenvolvimento das culturas (SILVA; ROSOLEM, 2001).

É possível observar aumento da Rp com a diminuição nos teores de água das amostras. Nas camadas de 0,05-0,1 e 0,1-0,2 m, foram observados valores superiores para a Rp, de 1,78 e 1,62 MPa para as amostras saturadas e de 2,09 e 1,91 MPa para as amostras na capacidade de campo nas áreas de SPD 23 e M+B respectivamente. Para todas as camadas, as áreas manejadas diferiram da área de mata para os valores de Rp nas amostras saturadas e na capacidade de campo. Os valores elevados encontrados nas áreas manejadas podem estar relacionados ao trânsito de máquinas em condição de elevada umidade no solo (MARCOLAN; ANGHINONI, 2006), sendo agravado pelos

altos teores de argila das áreas (Tabela 3). Valores de Rp acima de 2 Mpa são considerados limitantes ao desenvolvimento radicular das culturas (TORMENA; ROLOFF; SÁ, 1998).

Os valores de Ds e Rp obtidos evidenciam a presença de camadas compactadas em subsuperfície, o que pode causar impedimento ao desenvolvimento do sistema radicular das culturas implantadas nos sistemas de sucessão e, conseqüentemente restringir a produtividade das mesmas, especialmente em épocas de estresse hídrico prolongado, principalmente pela redução do volume de solo explorado pelo sistema radicular das plantas. Nestes casos, o revolvimento mínimo do solo com escarificadores em determinado período de tempo no SPD (QUINCKE et al., 2007) tem beneficiado a descompactação do solo nas camadas subsuperficiais compactadas, entre 0,15 a 0,25 m, como relatado no trabalho de Ferreras et al. (2000). Dimassi et al. (2013) observaram valores de Ds superiores em 4% em áreas que não receberam a descompactação periódica em relação as áreas que receberam tal manejo.

### Atributos químicos

Na Tabela 4 são apresentados os resultados dos atributos químicos das diferentes áreas estudadas. Para o pH, de maneira geral, observam-se valores superiores em todas as camadas para as áreas de mata e pastagem, diferindo das demais áreas nas camadas de 0,05-0,1 e 0,1-0,2 m. Esse padrão diferiu do observado para a área de SPD 15, a qual apresentou valores inferiores em relação a todas as áreas, fato relacionado à ausência de correção do solo após a implantação do SPD, no ano de 1998. A acidificação do solo é um processo contínuo, que persiste mesmo após calagem, visto que a decomposição da MOS adiciona íons  $H^+$  ao solo, assim como a troca iônica que ocorre entre as raízes das plantas e os colóides do solo. Nesse processo, as plantas absorvem íons  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  e outras bases, liberando íons  $H^+$ , aumentando a acidez do solo com o decorrer dos cultivos (BARBOSA FILHO et al., 2005). Estes baixos valores de pH do solo na área de SPD 15, justificam os valores mais elevados de H+Al em todas as camadas avaliadas, atingindo o valor de 5,4  $cmol_c dm^{-3}$  na camada de 0,05-0,1 m. Padrão similar foi observado para os teores de  $Al^{+3}$ , que foi maior somente na área de SPD 15, variando de 0,1 a 0,5  $cmol_c dm^{-3}$ .

**Tabela 4.** pH, fósforo (P), acidez potencial (H+Al), alumínio (Al), cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), carbono orgânico total (COT), e estoque de carbono (EstC) nos sistemas de manejo com diferentes tempos de implantação na região oeste do estado do Paraná, 2013.

Sistema de manejo	pH (CaCl <sub>2</sub> )	P	H+Al	Al	Ca	Mg	K	COT	EstC
		mg dm <sup>-3</sup>	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----					g kg <sup>-1</sup>	Mg ha <sup>-1</sup>
					0-0,05 m				
SPD 7	5,8b	13,4b	2,9b	0,0b	5,5b	1,8a	0,5ab	12,1c	5,0c
SPD 15	5,1c	14,9b	4,3a	0,1a	3,1c	1,0b	0,3bc	12,4c	5,1c
SPD 23	6,0ab	21,8a	3,2b	0,0b	6,3b	1,3ab	0,6a	15,6bc	6,4bc

M+B	6,0ab	26,6a	2,6b	0,0b	5,6b	1,1b	0,5ab	12,5c	5,2c
Pastagem	6,2ab	10,7b	3,2b	0,0b	2,9c	1,0b	0,3c	19,0b	7,9b
Mata	6,4a	9,7b	2,7b	0,0b	8,6a	1,0b	0,4bc	30,5a	12,5a
CV(%)	3,7	16,9	17,8	25,2	17,5	31,5	21,8	13,9	14,6
0,05-0,1 m									
SPD 7	5,5b	22,3bc	3,7bc	0,0b	4,2bc	1,2a	0,3abc	7,8c	4,4c
SPD 15	4,8c	38,5a	5,4a	0,5a	2,2c	0,6b	0,2bc	8,5c	5,1bc
SPD 23	5,5b	28,5ab	4,3ab	0,0b	5,3b	1,1ab	0,4a	10,7bc	6,4abc
M+B	5,5b	20,2bc	3,1cd	0,0b	5,2b	0,7ab	0,3ab	9,3c	5,2bc
Pastagem	6,4a	9,7cd	2,5d	0,0b	2,0c	0,6b	0,1c	13,7ab	7,4ab
Mata	6,3a	6,2d	2,2d	0,0b	7,9a	0,9ab	0,3abc	16,7a	8,3a
CV(%)	4,3	31,3	16,9	26,4	26,0	31,3	32,5	17,0	21,5
0,1-0,2 m									
SPD 7	5,3b	8,7ab	3,2b	0,0b	3,3bc	1,2a	0,2ab	5,2c	6,4d
SPD 15	4,8c	13,3a	4,5a	0,5a	2,2cd	0,3cd	0,1b	6,6c	7,8cd
SPD 23	5,5b	10,0ab	3,8ab	0,0b	4,5ab	0,8b	0,3a	9,3a	10,8ab
M+B	5,3b	10,2ab	3,1bc	0,0b	3,9ab	0,6c	0,2ab	6,9bc	8,3bcd
Pastagem	6,4a	8,4ab	2,2c	0,0b	1,6d	0,2d	0,1b	10,7a	12,4a
Mata	6,1a	4,8b	2,2c	0,0b	5,3a	0,9b	0,2ab	9,1ab	10,2abc
CV(%)	3,7	30,3	15,6	24,1	22,6	19,9	40,9	14,6	14,8
0,2-0,4 m									
SPD 7	5,5bc	7,9a	2,8ab	0,0b	3,7a	1,0a	0,1b	4,5c	9,6c
SPD 15	4,9d	6,0a	3,8a	0,3a	2,3bc	0,4bc	0,1b	5,1bc	10,9bc
SPD 23	5,5bc	6,6a	2,7ab	0,0b	4,2a	0,8ab	0,2a	7,5a	16,2a
M+B	5,4c	5,8a	2,7ab	0,0b	3,3ab	0,5bc	0,2a	4,8bc	10,6bc
Pastagem	6,5a	6,3a	2,2b	0,0b	1,3c	0,2c	0,1b	7,3a	16,0a
Mata	5,9b	4,7a	2,5ab	0,0b	4,2a	0,6abc	0,2a	6,8ab	13,9ab
CV(%)	4,1	29,6	24,7	22,5	18,4	37,7	40,7	17,5	14,3

Médias seguidas de letras iguais na coluna, em cada camada, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Para o teor de P no solo, apenas para a camada de 0,2-0,4 m não foram verificadas diferenças nos teores nos diferentes manejos. Para a camada de 0-0,05 m, as áreas de SPD 23 e M+B apresentaram valores superiores à área de mata. Nas camadas de 0-0,05 e 0,05-0,1 m foram observados teores superiores de P, chegando a  $35,5 \text{ mg dm}^{-3}$  na área de SPD 15, em comparação com a área de mata nativa. Esse padrão provavelmente pode ser atribuído às adubações fosfatadas realizadas anualmente nos cultivos de soja no verão e milho/trigo/braquiária no inverno e a baixa fertilidade natural do solo em relação ao P como observado na área de mata. Maiores teores de P em camadas superficiais também foram observados por Dalchiavon et al. (2012) em áreas de SPD. Para as bases trocáveis, principalmente o  $\text{Ca}^{+2}$ , observaram-se teores superiores na área sob vegetação de mata, principalmente nas camadas de 0-0,05 e 0,05-0,1 m, chegando a  $8,6 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  na camada de 0-0,05 m. Resultados similares foram obtidos por Costa et al. (2007) em um Latossolo Vermelho distrófico no Mato Grosso do Sul.

Para o  $\text{Mg}^{+2}$ , em todas as camadas, houve uma tendência da área de SPD 6 apresentar os teores superiores, apesar de não terem sido verificadas diferenças entre as camadas para a área de SPD 22, com valores variando de 1,0 a  $1,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  nas camadas de 0,2-0,4 e 0-0,05 m,

respectivamente. Para o  $K^+$ , somente a área de SPD 22 diferiu da área de mata apenas na camada de 0-0,05 m com teor de  $0,6 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$ . Teores superiores de  $K^+$  no solo permitem que possam ser adicionadas doses menores de fertilizantes na adubação, sem afetar a produtividade das culturas (DALCHIAVON et al., 2012).

### **Teores e estoque de carbono orgânico total**

Para o COT, observou-se tendência de aumento nos teores em função do tempo de adoção do SPD, porém sem diferenças para as duas primeiras camadas, com valores variando de 7,8 a  $15,6 \text{ g kg}^{-1}$  nas camadas de 0,05-0,1 e 0-0,05 m para o SPD 7 e SPD 23, respectivamente (Tabela 4). Os valores obtidos neste trabalho foram inferiores aos observados por Souza e Alves (2003) em solo de cerrado, no Mato Grosso do Sul e Guareschi et al. (2012a) no estado de Goiás, respectivamente com 8 e 3 anos de implantação do SPD, e Boddey et al. (2010) no sul do Brasil. Com o mesmo sistema de rotação de culturas no sul do Brasil, Sisti et al. (2004) não verificaram significativos acúmulos de COT na camada de 0-0,3 m após 13 anos sob SPD. De maneira geral, foram verificados teores superiores de COT para as áreas de mata, pastagem e SPD 23, contudo semelhantes entre si nas camadas de 0,1-0,2 e 0,2-0,4 m. Para a camada de 0-0,05 m, a área de mata apresentou teor de  $30,5 \text{ g kg}^{-1}$  de COT, diferindo das áreas manejadas.

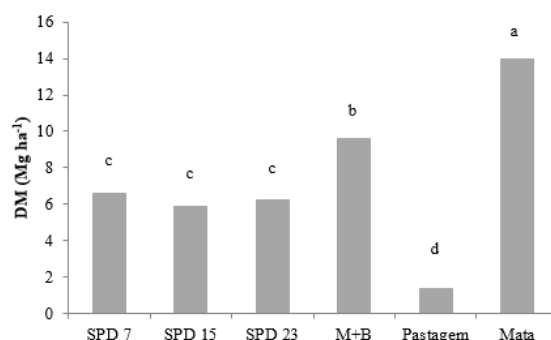
Foram verificados menores teores de COT em profundidade para as áreas estudadas, comportamento similar foi verificado por Guareschi et al. (2012b) com o mesmo tipo de solo e sistema de rotação de culturas (soja no verão e milho no inverno) em áreas com 3, 15 e 20 anos de implantação do SPD no estado de Goiás. A diminuição dos teores de carbono em profundidade demonstra a contribuição das entradas de C na camada mais superficial em relação às camadas de 0,05-0,1 m, 0,1-0,2 e 0,2-0,4 m, fato comum em sistemas sem revolvimento intensivo do solo, como do SPD consolidado.

A contribuição dos resíduos culturais entre os cultivos para a MOS foi incipiente, pois as condições climáticas favoreceram a rápida decomposição desses resíduos. Isso indica a importância da utilização de culturas com maior relação C/N para favorecer a formação de palhada, o que reforça a ideia de não haver diferença para os teores de COT nas camadas mais superficiais entre as áreas com diferentes tempos de adoção do SPD (Tabela 3), fato também observado por Paul et al. (2013) após quatro anos de sucessão soja-milho. Alguns estudos recentes têm questionado se o SPD proporciona aumento dos estoques de C do solo (BLANCO-CANQUI; LAL, 2008; CHRISTOPHER et al., 2009), pois esse aumento também depende da heterogeneidade de culturas instaladas na área. Os baixos valores podem ser explicados pela baixa entrada de C oriundo do manejo adotado na produção agrícola (OGLE et al., 2012). Para condições tropicais brasileiras em áreas de SPD por 20 anos Oliveira et al. (2004) verificaram maior acúmulo de MOS nas camadas

superficiais do solo nos cultivos de soja, milho e arroz.

Para o estoque de carbono orgânico total (ECOT), observam-se valores superiores para a área de mata na camada de 0-0,05 m, diferindo das áreas manejadas, com valor de  $12,5 \text{ Mg ha}^{-1}$  (Tabela 4). Para as demais camadas, verificam-se valores semelhantes nas áreas de SPD 23, pastagem e mata. Para as duas camadas mais superficiais, os valores de ECOT aumentaram com o tempo de adoção do SPD, porém não diferiram estatisticamente, com valor máximo de  $6,4 \text{ Mg ha}^{-1}$  para a área de SPD 23 nas duas camadas. Esses valores foram inferiores aos encontrados por Guareschi et al., (2012a, 2012b) utilizando o mesmo sistema de sucessão de culturas, variando de 3 a 20 anos de cultivo em SPD no cerrado brasileiro e Boddey et al. (2010) no Sul do Brasil com 17 anos da sucessão em SPD.

Para as duas últimas camadas, houve uma tendência de aumento do ECOT da área sob M+B, porém não diferindo das áreas de SPD 7 e SPD 15. Isso demonstra que, para a condição estudada, após quatro anos de implantação do sistema de integração M+B, os teores de C aportados pela palhada de braquiária não foram suficientes para aumentar os ECOT em relação às áreas de sucessão soja e milho/trigo, apesar de haver diferença na quantidade de matéria seca (MS) após o cultivo do milho. Na Figura 2, pode-se observar aporte de MS de  $9,58 \text{ Mg ha}^{-1}$  na área de M+B, enquanto as áreas de sucessão soja e milho/trigo variaram de  $5,87$  a  $6,63 \text{ Mg ha}^{-1}$ , sendo diferentes entre si. Ao serem manejados corretamente, os sistemas de integração podem beneficiar as entradas de C no sistema, conseqüentemente aumentar os ECOT e a fertilidade das áreas (BELL; MOORE, 2012), uma vez que a quantidade de resíduos que entra no sistema influencia a taxa de adição de C ao solo (JOHNSTON et al., 2009). A magnitude desse processo depende da quantidade, e também da qualidade dos resíduos aportados sobre a superfície do solo (PAUL et al., 2013).

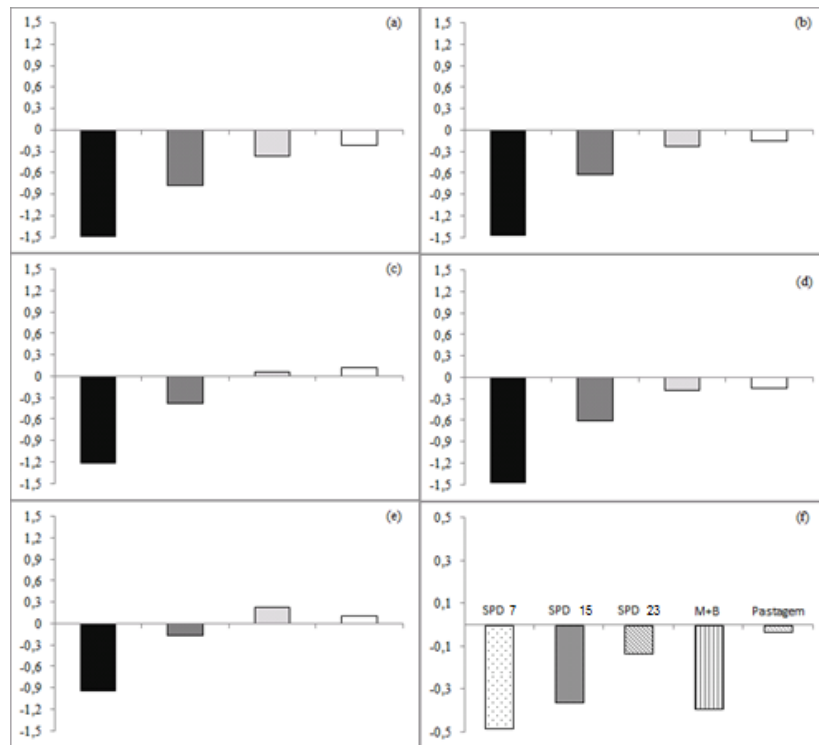


**Figura 2.** Quantidade de matéria seca (MS) aportada ao solo após o cultivo de inverno do ano de 2013, nos sistemas de manejo com diferentes tempos de implantação na região oeste do estado do Paraná.

As alterações da vegetação, além das práticas de manejo, influenciam os ECOT, pois podem alterar as taxas de adição e perda da MOS (PLAZA-BONILLA; CANTERO-MARTÍNEZ; ÁLVARO-FUENTES, 2010). Mudanças nos sistemas de manejo têm efeito direto no balanço de C do solo. Através da Figura 3, observou-se redução acentuada nos ECOT nas profundidades

superficiais, especialmente na camada de 0-0,05 m em relação à área de mata, o que indica a maior susceptibilidade da oxidação do COT nesta camada de solos submetidos a certos sistemas de manejo. Mesmo em sistemas de manejo que depositam elevadas quantidades de resíduos sobre a superfície do solo, em regiões tropicais, de clima quente e úmido, existe uma dificuldade em aumentar os teores e ECOT do solo, ou seja, voltar aos níveis das áreas sob vegetação natural (BLAIR, 2000). Essa variação negativa nos ECOT na camada de 0-0,05 m é mais evidente nas áreas de SPD 7 (a), SPD 15 (b) e M+B (d), seguidas das áreas de SPD 23 (c) e pastagem (e). Virto et al. (2011) mostraram que a variação dos ECOT pode ser positiva ou negativa em função da variação de entradas de C no sistema. Paul et al. (2013) relatam que pesquisas futuras devem estabelecer, para as diferentes zonas climáticas e tipos de solo, os níveis de retenção de resíduos mínimos críticos para a manutenção do C e a conservação do solo.

Na Figura 3 observa-se que as variações negativas de ECOT foram verificadas em relação à área de mata para todas as camadas avaliadas nas áreas de SPD 7 (a), SPD 15 (b) e M+B (d). Sendo que, somente nas camadas de 0,1-0,2 e 0,2-0,4 m, as áreas de SPD 23 (c) e pastagem (e) apresentaram  $\Delta$ ECOT positivas. No SPD, não se confirmou o potencial em sequestrar C verificado por Corazza et al. (1999). Neste sistema, um manejo possivelmente mais eficiente dos resíduos incorporados à superfície do solo, além de um esquema de rotação de culturas mais diversificado pode contribuir para incrementar o desenvolvimento de raízes em profundidade e facilitar o acúmulo de C no perfil. Isso reforça a hipótese de que as características dos esquemas de rotação de culturas podem ser determinantes no comportamento dos sistemas de manejo, principalmente quanto ao sequestro de C (D'ANDRÉA et al., 2004). Padrão esse, evidente nos trabalhos de Sisti et al. (2004); Boddey et al. (2010) no sul do Brasil, inserindo a ervilhaca como mais uma leguminosa componente do sistema. O aumento da complexidade de rotação, dependendo da região e tipo de solo, pode sequestrar ao redor de 200 kg C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (WEST; POST, 2002).



**Figura 3.** Variação do estoque de COT ( $\Delta$ ECOT) das áreas manejadas nas profundidades de 0-0,05 m (■), 0,05-0,1 m (■), 0,1-0,2 m (■) e 0,2-0,4 m (□) em relação à área de mata nativa, na região oeste do estado do Paraná, 2013: SPD 7 (a), SPD 15 (b), SPD 23 (c), M+B (d), Pastagem (e) e perfil de 0-0,4 m (f).

Para a pastagem (Figura 3e), foi observado valor negativo de  $\Delta$ ECOT nas duas primeiras camadas, porém menor que as outras áreas avaliadas, principalmente devido à contribuição do sistema radicular da pastagem em acumular C, como relatado por Acharya et al. (2012), uma vez que a área do estudo esta ocupada com pastagem permanente por longa data. Para a região dos Cerrados, D'Andréa et al. (2004), verificaram  $\Delta$ ECOT positiva em áreas de pastagem permanente com *Brachiaria* sp, principalmente devido à renovação contínua do sistema radicular, diferentemente do que ocorre em áreas de pastagens degradadas. Maiores emissões de CO<sub>2</sub> em pastagens degradadas têm sido relatadas quando comparadas com pastagens cultivadas (PLANTE et al., 2011), sendo variável de região para região, assim como influenciada pela quantidade de C que entra no sistema, taxa de decomposição, textura (JOHNSTON et al., 2009) composição mineralógica do solo e clima (WANG et al., 2010).

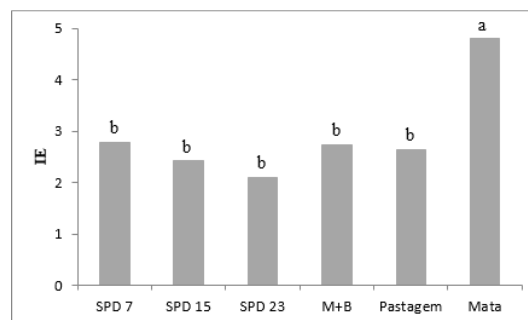
Quando se avaliou o perfil do solo (Figura 3f) observou-se tendência de diminuição dos valores negativos de ECOT em relação à área de mata em função do tempo de adoção do SPD. A área de M+B apresentou variação negativa semelhante à área de SPD 15. Diferentes práticas de manejo, incluindo a integração de gramíneas e leguminosas, a melhoria da pastagem, plantio direto e rotação de culturas podem aumentar os ECOT do solo (HUTCHINSON et al., 2007).

O IE proposto por Franzluebbbers (2002) foi calculado em relação aos teores de COT da



camada de 0-0,05 e da camada de 0-1-0,2 m (camada arável). Observa-se variação entre 1,73 e 3,43 para os valores de IE para as áreas de SPD 23 e mata, respectivamente (Figura 4). Outros estudos têm mostrado que o valor de IE pode variar de 1,1-1,9 para sistemas de manejo convencionais e 2,1-4,1 para SPD (FRANZLUEBBERS, 2002). Quando se avalia apenas as áreas manejadas, os valores do IE foram crescentes na seguinte ordem: 1,73 (SPD 23), 1,78 (Pastagem), 1,82 (M+B), 1,91 (SPD 15) e 2,34 (SPD 7). Tormena et al. (2004) estudaram áreas com nove anos de condução sob rotação (milho-trigo-soja-aveia-soja-nabo forrageiro) e sucessão (soja-milho/trigo) de culturas sob Latossolo no estado do Paraná e encontraram valores de IE de 1,73 e 1,28 para essas áreas, respectivamente, ou seja, maior IE em um sistema de rotação mais completo.

Existe tendência de redução nos valores de IE com o tempo de adoção do SPD, e isso se deve ao fato do acúmulo de C na camada de 0-0,05 m não ser expressivo com o decorrer do sistema de sucessão de culturas soja no verão e milho/trigo no inverno como pode ser observado na Tabela 4, onde não se tem diferenças nos teores de COT entre as áreas de SPD 7, SPD 15 e SPD 23 nas camadas de 0-0,05 e 0,05-0,1 m. Na área sob mata, verificou-se valor superior para o IE (3,43), indicando que ocorreu maior acúmulo de C em superfície. Sob vegetação de Cerrado, Salton (2008) observou valor de IE de 3,05 e o autor destacou que a utilização deste indicador possui como vantagem a facilidade de sua obtenção, dependendo apenas de valores para COT em duas camadas de solo, não sendo necessária a utilização de uma área de referência. Apesar de não terem ocorrido diferenças entre as áreas manejadas, foi observado um certo grau de estratificação do C em profundidade, com valores superiores a um.



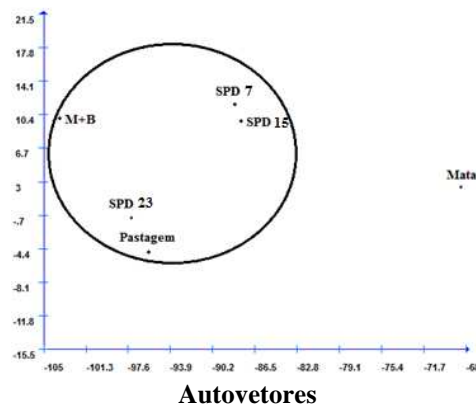
**Figura 4.** Índice de estratificação (IE) do carbono orgânico total em função dos sistemas de manejo com diferentes tempos de implantação e a área de mata, na região oeste do estado do Paraná, 2013.

Na análise canônica dos atributos físicos, químicos e ECOT, a primeira e a segunda variável canônica corresponderam a 71,4 e 21,6% da variação total, respectivamente, representando 93% da variação total, atendendo os requisitos mínimos para avaliação por meio da dispersão gráfica (CRUZ; REGAZZI, 1994). Além da dispersão gráfica, o método de agrupamento de Tocher modificado foi utilizado, evidenciando a formação de dois grupos: um formado pela área de mata e

o segundo grupo formado pelas áreas manejadas de SPD 7, SPD 15, SPD 23, M+B e pastagem (Figura 5), demonstrando que esses sistemas de manejos com diferentes tempos de implantação apresentaram padrão similar quando foram considerados os atributos químicos, físicos e estoques de C do solo.

As variáveis de menor importância, por apresentarem maior coeficiente de ponderação nas últimas variáveis canônicas, são os teores de areia, silte e Dp para os atributos físicos e acidez potencial e cálcio para os atributos químicos. Carneiro et al. (2009a) evidenciaram em um teste de agrupamento para dois tipos de solos, que em ambos, os atributos físicos foram os que menos contribuíram para discriminar os sistemas de manejo avaliados. Com relação à área de mata, os sistemas de manejo provocaram reduções em vários atributos estudados, o que pode levar à degradação deste solo com o tempo, fato também evidenciado por Carneiro et al. (2009a) em diferentes sistemas de manejo sob Latossolo e Neossolo na região dos Cerrados.

Pelo agrupamento, verificou-se que, de maneira geral, houve igualdade de condições para todas as áreas manejadas, o que leva a crer que os sistemas de manejo, especialmente as áreas com diferentes tempos de adoção do SPD no esquema de sucessão de culturas (soja-milho/trigo), contribuem de maneira pouco significativa para a melhoria destes atributos comparados com a área de mata, ou seja, um referencial para avaliação da qualidade dos sistemas produtivos explorados. Isso pode ser devido principalmente pela falta de um sistema de rotação de culturas mais completo, envolvendo um maior número de espécies vegetais, com características diferenciadas de aporte de material vegetal quanto à sua quantidade e qualidade, além de diferentes capacidades de exploração em profundidade de seus sistemas radiculares.



**Figura 5.** Dispersão dos diferentes sistemas de uso e manejo e agrupamento pelo método de Tocher modificado das duas primeiras variáveis canônicas no Latossolo Vermelho eutroférico típico, nos sistemas de manejo com diferentes tempos de implantação na região oeste do Paraná, 2013.

Os teores de C das frações húmicas e suas respectivas relações são apresentados no Tabela 5. De maneira similar ao observado para o COT, se verificam maiores teores destas frações na

camada de 0-0,05 m, especialmente para o C-HUM, 28,13 g kg<sup>-1</sup> na área de mata. Os teores de C-HUM foram superiores em relação aos das frações AF e AH (Tabela 5; Figura 6), como também relatado em vários trabalhos recentes da literatura (Bezzerra et al., 2013; Caetano et al., 2013; Campos et al., 2013; Guareschi et al., 2013a), indicando maior interação dessa fração em solos tropicais altamente intemperizados (Stevenson, 1994), em especial solos oxídicos (Assis et al., 2006), fato este confirmado pelos valores inferiores a unidade da relação EA/HUM (Tabela 5).

**Tabela 5.** Teores de carbono das frações humificadas das MOS ácido fúlvico (AF), ácido húmico (AH) e humina (HUM), extrato alcalino (EA), relação ácido húmico e ácido fúlvico (AH/AF) e extrato alcalino/humina (EA/HUM) sob Latossolo Vermelho eutroférico na região Oeste do estado do Paraná, 2013

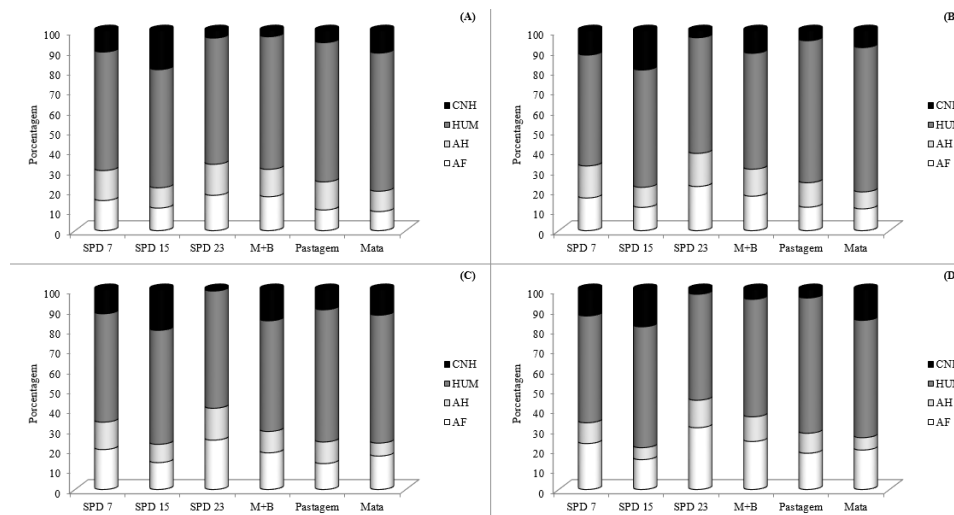
Sistemas de Manejo	C-AF	C-AH	C-HUM	EA	AH/AF	EA/HUM
	-----g kg <sup>-1</sup> -----					
0-0,05 m						
SPD 7	2,83 c	2,82 c	11,14 e	5,65 b	1,01 bc	0,51 a
SPD 15	2,36 d	2,12 d	12,37 d	4,48 c	0,90 cd	0,36 c
SPD 23	4,24 a	3,72 b	15,15 c	7,96 a	0,88 cd	0,53 a
M+B	3,21 bc	2,59 c	12,52 d	5,80 b	0,81 d	0,46 b
Pastagem	3,26 b	4,43 a	21,98 b	7,69 a	1,36 a	0,35 c
Mata	3,87 a	4,15 a	28,13 a	8,02 a	1,07 b	0,29 d
CV (%)	6,17	6,20	3,01	3,06	8,77	5,22
0,05-0,1 m						
SPD 7	2,60 cd	2,55 b	8,82 d	5,15 bc	0,98 a	0,58 b
SPD 15	1,95 e	1,68 c	9,83 c	3,63 d	0,86 b	0,37 c
SPD 23	4,02 a	3,01 a	10,55 c	7,03 a	0,75 b	0,67 a
M+B	2,97 b	2,34 b	10,00 c	5,31 b	0,79 b	0,53 b
Pastagem	2,30 d	2,40 b	13,91 b	4,70 c	1,05 a	0,34 c
Mata	2,84 bc	2,21 b	18,78 a	5,05 bc	0,78 b	0,27 d
CV (%)	6,26	8,10	3,09	5,25	7,00	7,09
0,1-0,2 m						
SPD 7	2,48 b	1,71 b	6,73 c	4,19 c	0,70 b	0,62 b
SPD 15	1,71 c	1,17 c	7,24 c	2,88 e	0,69 b	0,40 d
SPD 23	3,60 a	2,34 a	8,58 b	5,94 a	0,65 bc	0,69 a
M+B	2,84 b	1,67 b	8,63 b	4,51 bc	0,59 c	0,52 c
Pastagem	2,57 b	2,15 a	13,11a	4,72 b	0,84 a	0,36 d
Mata	2,48 b	0,96 c	9,48 b	3,44 d	0,39 d	0,36 d
CV (%)	7,81	7,88	5,31	5,89	7,33	5,84
0,2-0,4 m						
SPD 7	2,25 b	1,02 b	5,23 c	3,27 c	0,46 bc	0,62 b
SPD 15	1,51 c	0,61 c	6,04 bc	2,12 e	0,40 c	0,35 d
SPD 23	3,06 a	1,36 a	5,25 c	4,42 a	0,44 bc	0,84 a
M+B	2,55 b	1,31 a	6,24 b	3,86 b	0,52 ab	0,65 b
Pastagem	2,15 b	1,19 ab	8,01 a	3,34 c	0,55 a	0,42 cd
Mata	2,14 b	0,67 c	6,31 b	2,80 d	0,32 d	0,44 c
CV (%)	10,07	9,33	6,68	6,14	9,47	7,18

Como a fração HUM representa maior parte do COT do solo (Figura 6), é evidente que seu padrão seja semelhante ao observado para o COT, com maiores teores na área de mata nas camadas de 0-0,05 e 0,05-0,1 m com valores de 28,13 e 18,78 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Para as camadas de

0,1-0,2 e 0,2-0,4 m a área de pastagem apresentou os maiores teores com 13,11 e 8,01 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 5), mesmo padrão observado para os estoques C-HUM (Tabela 6). Este efeito pode estar relacionado com a acumulação de compostos orgânicos com elevada estabilidade química e peso molecular originados a partir da decomposição e humificação da MOS (Stevenson, 1994). Os maiores teores de C das frações húmicas na área de mata, especialmente o C-HUM, devem-se ao maior aporte de serapilheira e ausência da ação antrópica, diferindo das áreas manejadas.

Na média, em todas as áreas, a fração HUM representa, 64, 62, 59 e 58 % do COT nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,4 m, respectivamente, com diminuição percentual em profundidade. Representatividades de até 74 % (Marchiori Junior & Melo, 2000), 78 % (Souza & Melo, 2003), 60 % Leite et al. (2003), 69 % (Barreto et al., 2008) e 60 % (Rossi et al., 2011) da fração HUM também foram encontradas em diversos sistemas de manejo. Esse padrão sugere um grau avançado de humificação da MOS especialmente nas áreas de mata e pastagem, sendo relacionado ao tamanho das moléculas, uma vez que a fração HUM é uma fração de grande estabilidade (Fontana et al., 2006), resistente à biodegradação devido à complexação com íons metálicos e, ou argilo-húmicos estáveis (Benites et al., 2003; Barreto et al., 2008); ou pelo fato das frações AH e AF serem menos estáveis sendo submetidas à processos de polimerização e mineralização, com movimentação no perfil do solo (Fontana et al., 2006), tendo sua composição diminuída (Leite et al., 2003).

A movimentação relatada no perfil do solo é evidenciada principalmente para os AF, pois sua representatividade em comparação às frações húmicas é maior em profundidade, com valores médios de 13, 15, 17 e 22 % (Figura 6). Esse padrão também é evidenciado pelo aumento dos estoques de C-AF (Tabela 6) em todas as áreas, fato também observado em áreas de cultivo sucessivo de soja/milheto por 1, 2, 6, 8 e 10 anos em Neossolo Quartzarênico (Caetano et al., 2013). Outro indicativo desta mobilidade é o aumento da relação EA/HUM em profundidade (Tabela 5). O aumento desta relação indica menor estabilidade química das frações da MOS em profundidade (Fontana et al., 2006).



**Figura 6.** Distribuição, em porcentagem, das frações húmicas do solo, ácido fúlvico (AF), ácido húmico (AH), humina (HUM) e carbono não humificado (CNH) sob Latossolo Vermelho eutroférico na região Oeste do Paraná, 2013. (A) 0-0,05 (B) 0,05-0,1, (C) 0,1-0,2 e (D) 0,2-0,4 m.

Os maiores estoques de C-AF ocorreram na área de SPD 23 chegando a  $6,49 \text{ Mg ha}^{-1}$  na camada de 0,2-0,4 m, sendo estes valores superiores aos observados nas demais áreas em todas as camadas com exceção da área de mata na camada de 0-0,05 m. Esse padrão indica um maior estoque desta fração na camada de 0-0,4 m em comparação as demais áreas. Em função do maior valor de estoque na camada de 0-0,4 m na área de SPD 23, é evidente que sua  $\Delta EC$  em relação à área de referência é positiva e mais significativa em relação as demais áreas, como pode-se observar na figura 7c.

Como as áreas de mata e pastagem são as que foram submetidas às ações antrópicas em menor intensidade, os processos favoráveis a humificação da MOS podem atuar de maneira mais estável resultando em frações com maior estabilidade (Fontana et al., 2006). Esse padrão pode ser confirmado pelo aumento na proporção do C-HUM até mesmo em profundidade, onde foram atingidos valores de 72 % na camada de 0,05-0,1 m na área de mata. Nas duas primeiras camadas (0,0-0,05 e 0,05-0,10m), esse padrão também pode ser verificado, onde a área de mata apresentou os menores valores da relação EA/HUM, (Tabela 5).

Para a camada de 0,2-0,4 m, todas as áreas foram semelhantes com exceção da área de pastagem, com estoque de C-HUM de  $17,91 \text{ Mg ha}^{-1}$ , superando em 38 % o estoque de C desta fração em comparação a área de mata. Como observado para o COT, houve aumento dos teores (Tabela 5) e estoques (Tabela 6) de C-HUM em relação ao tempo de implantação do SPD, porém com o mesmo padrão do COT, especialmente do SPD 22 para SPD 6. Maiores teores e estoques de C-HUM podem implicar em melhoria de atributos importantes para a manutenção da capacidade produtiva das áreas, como, por exemplo, maior retenção de água, melhoria na agregação do solo

(Benites et al., 2003) e maior retenção de cátions (Souza & Melo, 2003; Alvarez-Puebla et al., 2005), atributos que estão intimamente ligadas a duas das três formas de proteção de C no solo: proteção coloidal e proteção física no interior dos agregados (Duxbury et al., 1989). Assis et al. (2006) verificaram maiores teores de C-HUM em macroagregados, sinalizando a importância dessa fração no processo de agregação.

**Tabela 6.** Estoque de C da fração humina (C-HUM), ácido húmico (C-AH) e ácido fúlvico (AF) sob Latossolo Vermelho eutroférico na região Oeste do estado do Paraná, 2013

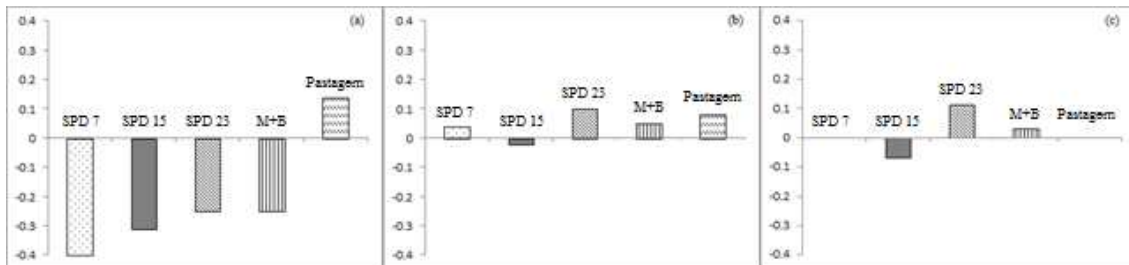
Profundidade (m)	Sistemas de uso do solo						
	SPD 7	SPD 15	SPD 23	M+B	Pastagem	Mata	CV(%)
	Estoque de C-HUM (Mg ha <sup>-1</sup> )						
0-0,05	4,61 c	5,12 c	6,26 c	5,19 c	9,11 b	11,64a	13,04
0,05-0,1	4,61 b	5,39 b	6,09 b	5,42 b	8,09 a	9,07 a	11,94
0,1-0,2	7,94 c	8,70 bc	10,00b	9,95 b	14,67a	10,58b	9,47
0,2-0,4	11,29b	12,71b	12,06b	13,61b	17,91a	13,02b	9,29
0-0,4	28,45d	31,92cd	34,41c	34,17c	49,78a	44,31b	7,15
	Estoque de C-AH (Mg ha <sup>-1</sup> )						
0-0,05	1,17 bc	0,88 c	1,55 ab	1,07 c	1,84 a	1,72 a	15,93
0,05-0,1	1,29 abc	0,91 c	1,61 a	1,20 bc	1,51 ab	1,06 c	16,10
0,1-0,2	2,06 bc	1,43 d	2,75 a	1,99 c	2,43 ab	1,07 d	10,08
0,2-0,4	2,34 c	1,38 d	3,18 a	2,82 b	2,69 b	1,37 d	7,60
0-0,4	6,86 b	4,60 c	9,09 a	7,08 b	8,47 a	5,22 c	8,96
	Estoque de C-AF (Mg ha <sup>-1</sup> )						
0-0,05	1,17 cd	0,98 d	1,76 a	1,33 bcd	1,35 bc	1,61 ab	13,62
0,05-0,1	1,30 bc	1,05 c	2,00 a	1,49 b	1,28 bc	1,38 bc	15,81
0,1-0,2	2,80 b	1,98 c	4,11 a	3,19 b	2,81 b	2,76 b	12,65
0,2-0,4	4,71 bc	3,15 d	6,49 a	5,36 b	4,53 bc	4,37 c	9,38
0-0,4	9,98 b	7,16 c	14,36a	11,37b	9,97 b	10,12b	8,60

Médias seguidas de letras iguais na linha, em cada camada, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Para os teores e estoques C-AH (Tabelas 5 e 6), é necessário destacar o aumento com o tempo de implantação do SPD para todas as camadas, principalmente quando se compara a área de SPD 23 com as demais. Os AH são considerados marcadores do processo de humificação e refletem, como tal, tanto a condição de gênese, como de manejo do solo (Canellas et al., 2003), estando relacionados a solos férteis com alto conteúdo de bases, responsáveis pela maior CTC de origem orgânica nas camadas superficiais (Benites et al., 2003). Os maiores teores e estoques de C-AF e C-AH, especialmente na área de SPD 23 são um indicativo da presença de C em frações com menor estabilidade, que se destacam em diversos processos do solo, como agregação e ciclagem de nutrientes. Os AF associados aos óxidos com baixo grau de cristalinidade podem apresentar importantes efeitos estruturais e fazer com que os agregados se tornem mais estáveis (Karlsson et al., 1987). Para o estoque de C-AH, para a camada de 0-0,4 m a área de SPD 23 é semelhante à área de pastagem (Quadro 3), com variação positiva em comparação com a área de mata (Figura 4b).

Quando se avalia apenas as áreas com SPD, verifica-se que os maiores valores de C das frações humificadas ocorrem na área de SPD 23, com porcentagem mínima para a fração de

carbono não humificado (CNH) (Figura 6). Os valores observados para essa fração foram menores ao quantificados por Campos et al. (2013), porém com um padrão não muito bem definido entre as áreas de SPD 7 e SPD 15. A partir desta observação, verifica-se que o SPD na sucessão soja, milho/trigo contribui de maneira lenta para o aumento dos teores e estoques das frações humificadas da MOS, sendo somente verificadas diferenças quando as áreas SPD 23 e SPD 7 são comparadas.



**Figura 7.** Variação do estoque de C ( $\Delta\text{EstC}$ ) das frações humificadas da matéria orgânica do solo das áreas manejadas na camada de 0-0,4 m em relação à área de mata nativa, na região Oeste do estado do Paraná, 2013:  $\Delta\text{EstC-HUM}$  (a),  $\Delta\text{EstC-AH}$  (b) e  $\Delta\text{EstC-AF}$  (c).

Na camada 0-0,4 m, houve aumento do estoque de C-HUM em função do tempo de adoção do SPD (SPD 7 para SPD 23), porém este aumento não é significativo quando se compara aos estoques das áreas de mata e pastagem com valores de 44,31 e 49,78 Mg ha<sup>-1</sup>. Na Figura 7a é possível observar variação negativa dos estoques de C-HUM em todas as áreas estudadas com exceção para a área de pastagem. Destaca-se também, a diminuição, mesmo não tão significativa da variação negativa do estoque de C-HUM em função tempo de implantação do SPD, com variação mais negativa em SPD 7 e menos negativa nas áreas de SPD 23 e M+B, o que pode indicar menor perda de C desta fração em função do tempo de implantação, ou seja, para as condições avaliadas, o SPD em sucessão contribuiu para a menor perda de C-HUM.

Para a relação AH/AF, na qual, valores superiores à unidade indicam predomínio de AH em comparação aos AF com material orgânico mais estável característico de solos férteis, observa-se apenas para a área de SPD 7, pastagem e mata na camada de 0-0,05 m e pastagem na camada de 0,05-0,1 m valores superiores a unidade, chegando a 1,36. A área de pastagem se diferencia das demais, nas camadas de 0-0,05 e 0,1-0,2 m. Esse padrão, de valores da relação AH/AF, é concordante com o observado por Loss et al. (2013a) em áreas manejadas sob SPD, integração lavoura-pecuária (ILP) e Cerrado e Bezzerra et al. (2013) nos mesmos sistemas de manejo, porém divergem dos verificados também em cronossequência de SPD e Cerrado por Campos et al. (2013) no Pauí e Guareschi et al. (2013a) em Goiás. Sob sistema de sucessão de culturas mais diversificado (soja/nabo/milho/aveia/braquiária), Fontana et al. (2006) observaram valores desta relação em torno de 1,03.

Observa-se diminuição nos valores da relação AH/AF em função do tempo de adoção do

SPD com valores variando de 1,01 a 0,40, o mesmo padrão foi observado por Guareschi et al. (2013a) em cronossequência de SPD e Caetano et al. (2013) após 8 anos de sucessão soja/milheto, porém com valores desta relação superiores a unidade. A manutenção de maiores teores de C-AH em comparação aos teores de C-AF evidencia solos mais preservados, de manejo mais conservacionista. Em solos tropicais, normalmente, esta razão é inferior a 1 devido à menor intensidade do processo de humificação, condensação e síntese, atribuídas à intensa mineralização dos resíduos, restrições edáficas e ao baixo conteúdo de bases trocáveis à atividade biológica nos solos mais intemperizados (Canellas et al., 2003), o que está de acordo com o apresentado nas áreas estudadas.

### Frações oxidáveis

Para a camada de 0-0,05 m, a área de mata apresentou maiores teores de C nas frações F1 (carbono lábil -  $C_L$ ) e F3, com valores de 12,87 e 8,52  $g\ kg^{-1}$ , respectivamente, diferindo das demais áreas (Tabela 7). Para a fração F2, foi verificada certa semelhança entre as áreas, em especial a área com SPD 6, SPD 22, pastagem e mata, com teores variando de 4,06 a 4,57  $g\ kg^{-1}$ . A área de pastagem, para esta camada, apresentou maior teor de C na F4, ou seja, a fração mais recalcitrante dentre as analisadas. Especialmente para a F1, para a área de mata, o maior aporte de serapilheira e de forma continua durante o passar dos anos, contribui para aumento dos seus teores (Loss et al. 2014). Esse padrão é concordante também com os maiores teores de COT observados nessa área (Tabela 4). Comportamento similar foi verificado por Guareschi et al. (2013b) comparando área de Cerrado e cronossequência de 3, 5 e 20 anos de SPD sob Latossolo.

**Tabela 7.** Frações oxidáveis de carbono orgânico, carbono não-lábil ( $C_{NL}$ ), proporção de carbono lábil/C total ( $C_L/C$ ) e relações entre as frações oxidáveis sob Latossolo Vermelho eutroférico típico na região Oeste do estado do Paraná, 2013

Sistema de manejo	F1	F2	F3	F4	$C_{NL}$	$C_L/C$	F1/F4	F1+F2/ F3+F4
	-----g kg <sup>-1</sup> -----				-%-			
0-0,05 m								
SPD 7	5,52e	4,06a	4,78d	3,30d	13,26d	29,44bc	1,70b	1,19a
SPD 15	6,67d	2,40c	5,54c	5,74b	14,27cd	31,87b	1,16c	0,80c
SPD 23	7,79c	4,34a	6,20b	4,05c	16,23c	32,55ab	1,94ab	1,18a
M+B	6,93d	3,22b	5,83bc	3,39cd	12,03d	36,68a	2,05ab	1,10ab
Pastagem	8,81b	4,24a	5,82bc	7,65a	23,05b	26,97c	1,11c	0,95bc
Mata	12,87a	4,57a	8,52a	5,74b	27,91a	31,66b	2,26a	1,22a
CV (%)	4,28	8,28	5,01	7,27	7,58	7,44	11,17	7,63
0,05-0,1 m								
SPD 7	3,96e	3,10b	4,97c	3,51b	11,94bc	24,93b	1,13c	0,83b
SPD 15	5,10cd	2,11c	4,95c	4,79a	11,66c	30,41a	1,08c	0,74b
SPD 23	5,46bc	3,26b	5,00bc	2,78c	12,79bc	30,03a	1,97a	1,13a
M+B	4,79d	2,22c	5,69b	3,63b	12,53bc	27,73ab	1,33c	0,75b



Pastagem	5,89b	3,12b	4,13d	4,49a	13,71b	30,12a	1,32c	1,05a
Mata	8,15a	4,12a	6,42a	4,92a	17,89a	31,36a	1,66b	1,08a
CV (%)	5,48	8,12	6,86	7,85	7,16	7,21	10,07	7,17
0,1-0,2 m								
SPD 7	2,71d	1,92c	3,92cd	3,54b	9,73bc	21,78c	0,77d	0,62cd
SPD 15	3,88c	0,98e	5,59b	2,97bc	8,84c	30,59ab	1,31c	0,57d
SPD 23	5,08a	1,54d	4,31c	2,32cd	9,68bc	34,89a	2,23a	1,00a
M+B	3,39c	2,25b	3,71d	4,35a	12,43ab	21,93c	0,78d	0,70c
Pastagem	5,50a	3,00a	6,73a	3,18b	14,32a	27,75bc	1,77b	0,86b
Mata	4,43b	1,99b	4,31c	2,23d	10,51bc	29,84ab	2,00ab	0,98a
CV (%)	5,93	8,20	6,03	11,27	14,06	11,84	15,63	5,54

Médias seguidas de letras iguais na coluna, em cada camada, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Considerando as duas frações mais lábeis (F1 e F2), avaliando as áreas de cultivo, somente para a camada de 0,1-0,2 m as áreas de SPD 23 e pastagem apresentaram maiores teores de C na fração F1. Para a fração F2, na camada de 0-0,05 m, pode-se observar maiores teores nas áreas de SPD 7 e SPD 23, sendo estas semelhantes às áreas de pastagem e mata. Considerando apenas a fração mais lábil (F1) e a cronosequência de SPD, observa-se tendência de aumento nos teores desta fração em função do tempo de implantação para todas as camadas, da mesma forma como relatado por Guareschi et al. (2013b) em cronosequência de SPD no cerrado goiano. Esse padrão é característica de sistemas conservacionistas (Chan et al., 2001) de manejo com aporte de resíduos de plantas na superfície (Barreto et al., 2011) sem revolvimento do solo (Rangel et al., 2008), beneficiando a ciclagem de nutrientes (Loss et al., 2009).

A partir desta constatação, é possível afirmar que os sistemas de manejo baseados na sucessão soja e milho/trigo contribuem de certa forma para o incremento dos teores de C das frações mais lábeis, porém de uma maneira não tão significativa quanto se houvesse um sistema de rotação de culturas com maior complexidade, com maior contribuição para a melhoria da quantidade (Sisti et al., 2004) e qualidade (Loss et al., 2013a) do C adicionado ao solo, como foi relatado para as frações humificadas (Tabela 5), com o aumento da relação AH/AF (Fontana et al., 2006). Loss et al. (2013a) observaram uma maior contribuição da fração F1 em área de SPD no cerrado, porém com um maior número de culturas no sistema de manejo (girassol/milheto/soja e milho). Isso também é evidente na área de M+B, onde quatro anos após a inserção da braquiária junto à cultura do milho, não foi eficiente em aumentar os estoques de C destas frações. A importância de se ter maiores teores de C das frações de maior labilidade do C, esta na melhoria dos atributos químicos e físicos do solo, como ciclagem de nutrientes e agregação do solo (Blair et al., 1995).

Não foi observado aumento dos teores da fração F4 em função da adoção do SPD, padrão divergente do verificado por Guareschi et al. (2013b) em uma área de cronosequência SPD. Na camada de 0-0,05 m as áreas de mata e pastagem apresentaram teores superiores, 8,52 e 7,65 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente, desta fração. Para a camada de 0,05-0,1 m, para as áreas de mata, pastagem e SPD

15 foram quantificados os maiores teores da fração F4 e a área de mata da fração F3 (6,42 g kg<sup>-1</sup>). Já na camada de 0,1-0,2 m a área de pastagem, com 6,73 g kg<sup>-1</sup> para a fração F3 e M+B com 4,35 g kg<sup>-1</sup> para a fração F4 apresentaram valores superiores. De modo geral, destaca-se a área de pastagem com maiores teores de C nas frações F3 e F4. Este padrão pode ser devido ao acúmulo de compostos orgânicos de maior estabilidade química e alto peso molecular oriundos da decomposição e favoráveis condições para a humificação da MOS (Stevenson, 1994), sendo as frações mais resistentes no solo, com maior tempo de permanência (Chan et al., 2001). Maiores teores de C destas frações são concordantes com maiores teores de C-HUM (Tabela 5), fração mais estável da MOS.

Especialmente para a fração F1, observa-se nas duas primeiras camadas maior variação estatística entre as áreas, mesmo na cronossequência de SPD. A fração F1 pode ser considerada um bom indicador de sustentabilidade (Barreto et al., 2011), por ser a fração, mais sensível as mudanças promovidas pelos sistemas de manejo (Guareschi et al., 2013b), com diferenças visíveis em um período mais curto (Chan et al., 2001). Como a fração F1 é muito sensível, conseqüentemente o carbono não lábil (C<sub>NL</sub>) segue o mesmo padrão, visto que o mesmo é calculado a partir da subtração do COT pelo C da F1. Observam-se diferenças significativas entre as áreas na camada de 0-0,05 m, com maiores teores nas áreas de pastagem e mata, chegando a 27,91 g kg<sup>-1</sup> na mata, padrão concordante com os maiores teores de C-HUM apresentados nesta camada. Guareschi et al. (2013b) relatam que o C<sub>NL</sub> em camadas mais profundas, apresenta maior resistência a modificações, em função da maior proteção oferecida pela profundidade, sendo que maiores alterações só serão verificadas quando houver sensíveis modificações nos teores de COT.

Para o C<sub>NL</sub>, seguindo a mesma tendência do COT, verificaram-se maiores teores na área de mata nas duas primeiras camadas e, para a área de pastagem na camada de 0,1-0,2 m sendo semelhante a área de M+B. Foi observado o aumento do teor de C<sub>NL</sub> em função do tempo de implantação do SPD apenas na camada de 0-0,05 m, de 13,26, 14,27 e 16,23 g kg<sup>-1</sup> nas áreas de SPD 7, 15 e 23. Pode-se considerar que o aumento do C<sub>NL</sub> torna-se de grande importância para a estabilidade do SPD, pois o C<sub>NL</sub> apresenta ciclagem mais lenta em relação ao C<sub>L</sub> e, atua como reservatório de nutrientes e também na estabilização de microagregados do solo (Zech et al., 1997).

O equilíbrio na distribuição do C é avaliado segundo as relações F1/F4 e F1+F2/F3+F4, onde índices destas relações mais próximos a um indicam melhor equilíbrio na distribuição dos teores de C mais lábeis e recalcitrantes. Avaliando a relação F1/F4, na camada de 0-0,05, verifica-se que os maiores valores são observados na área de mata, SPD 23 e M+B, sendo as duas últimas semelhantes à SPD 7, chegando a 2,26 na área de mata. Para as demais camadas, na área de SPD 23 foram quantificados os maiores valores, sendo que estes não diferiram da área de mata na última camada. Assim, de maneira geral, nas áreas de SPD, a predominância da fração F1 em comparação a

F4, ou seja, predomínio de formas mais lábeis de C. Sob 15 anos de sucessão soja/azevém sob SPD, Loss et al. (2014) observaram valores desta relação variando de 0,86 a 1,25.

Quando se avalia as quatro frações ( $F1+F2/F3+F4$ ), destaca-se a área de pastagem, com valores mais próximos a unidade, especialmente nas duas primeiras camadas. Da mesma forma que a relação  $F1/F4$ , na área de SPD 23, verificam-se maiores valores desta, variando de 1,00 a 1,18 nas camadas de 0,1-0,2 e 0-0,05 m, respectivamente, sendo na primeira camada semelhante à área de M+B. Isso indica maiores entradas de material vegetal de maior labilidade, como também observado por Loss et al. (2013a) em SPD e ILP. Outro indicativo da maior entrada de C com maior labilidade nesta área é através da avaliação da relação percentual de  $C_L/C$ , onde a área de SPD 23 se destaca nas duas primeiras camadas, porém não diferindo da área de M+B na camada de 0-0,05 cm. Para estas camadas foram quantificados valores de 32,55 e 36,68 %, respectivamente. Os valores desta relação foram superiores ao encontrados por Rangel et al. (2008) e Guareschi et al. (2013b) sob Latossolos em MG e GO, respectivamente.

Os maiores valores das frações F1 e F2 se encontram nas camadas mais superficiais devido à deposição dos resíduos vegetais na superfície e ausência de revolvimento do solo. De maneira geral, a participação destas frações decresce com a profundidade, passando de 52 para 48 e 44 % e as frações F3 e F4 aumentam, passando de 48, para 52 e 56 % nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,1 e 0,1-0,2 m, indicando certo equilíbrio na distribuição do C destas frações. Em áreas de cerrado goiano, Guareschi et al. (2013b) observaram que a participação das frações mais recalcitrantes chegou a 66,4 %, já Loss et al. (2013b) quantificaram participação de 65 % em áreas de pastagem. O maior equilíbrio da distribuição das frações oxidáveis pode ser constatado também quando comparam-se os valores quantificados com o trabalho de Loss et al. (2013a) também no cerrado Goiano. Os autores quantificaram valores da relação  $F1/F4$  chegando a 8,4 e,  $F1+F2/F3+F4$  superiores a 2,0 em áreas com SPD e ILP. É interessante ter-se um balanço de C nas frações oxidáveis, com as mesmas proporções de C entre as frações, com representatividade de frações que auxiliam na ciclagem de nutrientes e outras que auxiliam efetivamente nos processos de agregação a longo prazo (Loss et al., 2009).

## CONCLUSÕES

Nas áreas manejadas verifica-se a presença de camadas subsuperficiais compactadas, evidenciadas pelos maiores valores de densidade do solo e resistência à penetração.

A sucessão soja-milho/trigo não contribui efetivamente para o aumento dos teores e estoques de carbono do solo nos diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto especialmente nas camadas mais superficiais.

Há variação negativa nos estoques de carbono das áreas manejadas em comparação à área

de mata nativa, principalmente nas camadas superficiais do solo.

Nenhum dos sistemas de manejo de longa duração com SPD é agrupado com a mata nativa, área de referência, ao serem considerados todos os atributos físicos, químicos e estoque de carbono.

Verifica-se o predomínio da fração humina em comparação aos ácidos húmicos e fúlvicos com maiores teores e estoques nas áreas de mata e pastagem, com movimentação das frações do extrato alcalino em profundidade.

Dentre os sistemas manejados, em SPD, a área de 23 anos apresentou maiores teores e estoques de ácidos húmicos e fúlvicos e variação de estoque de C-HUM menos negativa.

Existe certo equilíbrio na distribuição do carbono das frações oxidáveis, com predomínio das frações lábeis nas camadas mais superficiais e recalcitrantes em camadas mais profundas.

## **DESCRIÇÃO DAS DIFICULDADES E MEDIDAS CORRETIVAS**

Não ocorreram dificuldades para o desenvolvimento do projeto.

## **RELATÓRIO PRÁTICO**

O estudo teve como objetivo avaliar as principais modificações na fertilidade do solo de áreas de SPD no Paraná. Foram observadas modificações nesse atributo porém o maior destaque foi verificado para os teores de matéria orgânica. A sucessão soja/milho/trigo, largamente utilizada região de estudo se mostra benéfica em relação ao aumento no conteúdo de matéria orgânica, mesmo que de forma lenta. Porém, uma maior diversidade de espécies de plantas, aumentaria ainda mais os benefícios dos sistemas conservacionistas de manejo do solo instalados na região.

## **COMPENSAÇÕES OFERECIDAS À FUNDAÇÃO AGRISUS**

Como compensações oferecidas destacam-se:

Resumos apresentados em eventos científicos com destaque para o Congresso Brasileiro de Ciência Solo.

Artigos científicos encaminhados para períodos – 1 para a revista Semina aceito e será publicado no último número de 2014 e um artigo submetido à Revista Brasileira de Ciência do Solo.

Uma tese de doutorado que será defendida em fevereiro de 2015.

Material de divulgação dos principais resultados da pesquisa, a serem confeccionados em 2015.

## DEMONSTRAÇÃO FINANCEIRA DOS RECURSOS DA FUNDAÇÃO AGRISUS:

O recurso recebido (4.800,00) foi utilizado para pagamento de um bolsista de iniciação científica durante 12 meses.

### REFERÊNCIAS

- ACHARYA, B. S.; RASMUSSEN, J.; ERIKSEN, J. Grassland carbon sequestration and emissions following cultivation in a mixed crop rotation. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 153, n. 15, p. 33-39, 2012.
- AITA, C.; BASSO, C.J.; CERETTA, C.A.; GONÇALVES, C.N.; DA ROS, C.O. Plantas de cobertura de solo como fontes de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 157-1165, 2001.
- AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 601-612, 2003.
- ALVAREZ-PUEBLA, L. A.; GOULET, P. J. C.; GARRIDO, J. J. Characterization of the porous structure of different humic fraction. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 256, p.129-135, 2005.
- ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo no sistema plantio direto. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. 1ª ed. Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p. 873-928.
- ASSIS, C.P.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E.S. & NEVES, J.C.L. Carbono e nitrogênio em agregados de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.1541-1550, 2006.
- BARBOSA FILHO, M. P.; FAGERIA, N. K.; ZIMMERMANN, F. J. P. Atributos de fertilidade do solo e produtividade do feijoeiro e da soja influenciados pela calagem em superfície e incorporada. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 3, p. 507-514, 2005.
- BARRETO, A.C.; FREIRE, M.B.G.S.; NACIF, P.G.S.; ARAÚJO, Q.R.; FREIRE, F.J. & INÁCIO, E.S.B. Fracionamento químico e físico do carbono orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1471-1478, 2008.
- BARRETO, P.A.B.; GAMA-RODRIGUES, E.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; FONTES, A.G.; POLIDORO, J.C.; MOCO, M.K.S.; MACHADO, R.C.R. & BALIGAR, V.C. Distribution of oxidizable organic C fractions in soils under cacao agroforestry systems in Southern Bahia, Brazil. **Agroforest Systems**, v. 81, p.213-220, 2011.

- BARROS, N.F.; COMERFORD, N.B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. In: ALVAREZ, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, L.M. **Tópicos em ciência do solo**. Eds. Viçosa: SBCS, 2002. p. 487-592.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2ªed. Porto Alegre-RS: Metrópole, 2008. p. 9-26.
- BELL, L. W.; MOORE, A. D. Integrated crop-livestock systems in Australian agriculture: trends, drivers and implications. **Agricultural Systems**, v. 111, n. 7, p. 1-12, 2012.
- BENITES, V. M.; MÁDARI, B.; MACHADO, P. L. O. A. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado e de baixo custo**. Rio de Janeiro-RJ, Embrapa Solos, 2003. 7p. (Comunicado Técnico, 16).
- BERNOUX, M.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C.; GERALDES, A. P. A.; FERNANDES, S. A. P. Carbono e nitrogênio em solo de uma cronossequência de floresta tropical - pastagem de Paragominas. **Scientia Agrícola**, v. 56, n. 4, p. 1-11, 1999.
- BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JUNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 1, p. 155-165, 2004.
- BEZERRA, R.P.M.; LOSS, A.; PEREIRA, M.G. & PERIN, A. Formas de carbono em Latossolo sob sistemas de plantio direto e integração lavoura-pecuária no cerrado, Goiás. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, p.2637-2654, 2013.
- BHATTACHARYYA, R.; PRAKASH, V.; KUNDU, S.; SRIVASTVA, A. K.; GUPTA, H. S. Soil aggregation and organic matter in a sandy clay loam soil of the Indian Himalayas under different tillage and crop regimes. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 132, p. 126-134, 2009.
- 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, p. 1459-1466, 1995.
- BLAIR, N. Impact of cultivation and sugar-cane green trash management on carbon fractions and aggregate stability for a Chromic Luvisol in Queensland, Australia. **Soil & Tillage Research**, v. 55, n. 1, p. 183-191, 2000.
- BLANCO-CANQUI, H.; LAL, R. No-tillage and soil-profile carbon sequestration: an on-farm assessment. **Soil Science Society of America Journal**, v. 72, n. 3, p. 693-701, 2008.
- BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; CONCEIÇÃO, P. C.; ZANATTA, J. A.; BAYER, C.;

- MIELNICZUK, J.; DIECKOW, J.; SANTOS, H. P.; DENARDIN, J. E.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA S. Carbon accumulation at depth in Ferralsols under zero-till subtropical agriculture. *Global Change Biology*, v. 16, n. 2, p. 784-795, 2010.
- BOER, C.A.; ASSIS, R.L. de; SILVA, G.P.; BRAZ, A.J.B.P.; BARROSO, A.L. de L.; CARGNELUTTI FILHO, A. & PIRES, F.R. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.42, p.1269-1276, 2007.
- BOER, C.A.; ASSIS, R.L.; SILVA, G.P.; BRAZ, A.J.B.P.; BARROSO, A.L.L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PIRES, F.R. Biomassa, decomposição e cobertura do solo ocasionada por resíduos culturais de três espécies vegetais na região centro-oeste do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 843-851, 2008.
- BRADY, N. C.; BUCKMAN, H. O. **Natureza e propriedades dos solos**. 6. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1983, 647 p.
- BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. *Geoderma*, v. 124, p. 3-22, 2005.
- CAETANO, J.O.; BENITES, V.M.; SILVA, G.P.; SILVA, I.R.; ASSIS, R.L. & CARGNELUTTI FILHO A. Dinâmica da matéria orgânica de um Neossolo Quartzarênico de cerrado convertido para cultivo em sucessão de soja e milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.37, p.1245-1255, 2013.
- CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society of America Journal*, v. 56, p. 777-783, 1992.
- CAMPOS, B. C. **Dinâmica do carbono em Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo de solo e de culturas**. 2006. 188 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.
- CAMPOS, L.P.; LEITE, L.F.C.; MACIEL, G.A.; BRASIL, E.L. & IWATA, B.F. Estoques e frações de carbono orgânico em Latossolo Amarelo submetido a diferentes sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 48, p.304-312, 2013.
- CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A.; RUMJANEK, V. M.; MORAES, A. A.; GURIDI, F. Distribuição da matéria orgânica e características de ácidos húmicos em solos com adição de resíduos de origem urbana. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 36, p. 1529-1538, 2001.
- CANELLAS, L.P.; VELLOSO, A.C.X.; MARCIANO, C.R.; RAMALHO, J.F.G.P.; RUMJANEK, V.M.; REZENDE, C.E. & SANTOS, G.A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo

- tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.935-944, 2003.
- CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009a.
- CARVALHO, J.L.N., CERRI, C.E.P., CERRI, C.C., FEIGL, B.J., PICCOLO, M.C., GODINHO, V. & HERPIN, U. Changes of chemical properties in an Oxisol after clearing of native Cerrado vegetation for agricultural use in Vilhena, Rondonia State, Brazil. **Soil Tillage Research**, v. 96, p. 95-102, 2007.
- 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**, v.166, p.61-67, 2001.
- CHENU, C.; BISSONNAIS, Y. L.; ARROUAYS, D. Organic matter influence on clay wettability and soil aggregate stability. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, p. 1479-1486, 2000.
- CHRISTOPHER, S. F.; LAL, R.; MISHRA, U. Regional study of no-till effects on carbon sequestration in the midwestern United States. **Soil Science Society of America Journal**, v. 73, n. 1, p. 207-216, 2009.
- CONCEIÇÃO, P. C.; BOENI, M; DIECKOW, J.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Fracionamento densimétrico com iodeto e politungstato de sódio em estudos de proteção física da matéria orgânica do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30, 2005, Recife. **Anais...** Recife. SBCS, 2005, 1CD-ROM.
- CORAZZA, E. J.; SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 2, p. 425-432, 1999.
- COSTA, M. J.; ROSA JUNIOR, E. J.; ROSA, Y. B. C. J.; SOUZA, L. C. F.; ROSA, C. B. J. Atributos químicos e físicos de um latossolo sendo influenciados pelo manejo do solo e efeito da gessagem. **Acta Scientiarum: Agronomy**, v. 29, p. 701-708, 2007. Suplemento.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 1994. 394 p.
- 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.
- DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférico sob sistema plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 3, p. 453-461, 2012.
- DIMASSI, B.; COHANB, J.P.; LABREUCHE, J.; MARY, B. Changes in soil carbon and nitrogen



- following tillage conversion in a long-term experiment in Northern France. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 169, p. 12-20, 2013.
- ELLERT, B. H.; BETTANY, J. R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. **Canadian Journal Soil Science**, v. 75, n. 4, p. 529-538, 1995.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro, Embrapa, 1997. 212 p.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Mapa de solos do estado do Paraná**. Rio de Janeiro, Embrapa, 2007. 73p.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, Embrapa, 2013. 353 p.
- FERRERAS, L. A.; COSTA, J. L.; GARCIA, F. O.; PECORARI, C. Effects of no tillage on some soil physical properties of a structural degraded Petrocalcic Paleudoll of the southern “Pampa” of Argentina. **Soil & Tillage Research**, v. 54, n. 1-2, p. 31-39, 2000.
- FONTANA, A.; PEREIRA, M.G.; LOSS, A.; CUNHA, T.J.F. & SALTON, J.C. Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 847-853, 2006.
- FRANZLUEBBERS, A. J. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. **Soil & Tillage Research**, v. 66, n. 2, p. 95-106, 2002.
- GAMA-RODRIGUES, E.F. & GAMA-RODRIGUES, A.C. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P. & CAMARGO, F.A.O., eds. **Fundamentos da matéria orgânica do solo ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2.ed. Porto Alegre, Metrópole, 2008. p.159-170.
- GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G. & PERIN, A. Oxidizable carbon fractions in Red Latosol under different management systems. **Ciência Agronômica**, v.44, p.242-250, 2013b.
- GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no cerrado goiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 3, p. 909-920, 2012b.
- GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Estoque de carbono em Latossolo vermelho distroférrico sob diferentes sistemas de manejo. **Agrária**, v. 7, n. 4, p. 597-802, 2012a.
- GUARESCHI, R.F.; PEREIRA, M.G. & PERIN, A. Frações da matéria orgânica em áreas de Latossolo sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado do estado de Goiás. **Semina: Ciências Agrárias**, v.34, p.2615-2628, 2013a.
- HUTCHINSON, J. J.; CAMPBELL, C. A.; DESJARDINS, R. L. Some perspectives on carbon

- sequestration in agriculture. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 142, n. 2-4, p. 288-302, 2007.
- JANZEN, H. H.; CAMPBELL, C. A.; BRANDT, S. A.; LAFOND, G. P.; TOWNLEYSMITH, L. Light-fraction organic matter in soil from long-term crop rotations. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, p. 1799-1806, 1992.
- JOHNSTON, A. E.; POULTON, P. R.; COLEMAN, K. Soil organic matter: its importance in sustainable agriculture and carbon dioxide fluxes. **Advances in Agronomy**, v. 101, n. 1, p. 1-57, 2009.
- KARLSSON, S.; KAKANSSON, K. & ALLARD, B. Simultaneous dissolution of organic acids in sequential leaching of sediment bound trace metals. **Journal of Environmental. Science Health**, v. 22, p.549-562, 1987.
- LAWAL, H. M.; OGUNWOLE, J. O.; UYOVBISERE, E. O. Changes in soil aggregate stability and carbon sequestration mediated by land use practices in a degraded dry savanna alfisol. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v. 10, p. 423-429, 2009.
- 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, p.821-832, 2003.
- LONGO, R.M. & ESPÍNDOLA, C.R. Alterações em características químicas de solos da região Amazônica pela introdução de pastagens. **Acta Amazonica**, v. 30, p. 71-80, 2000.
- LOSS, A.; COUTINHO, F.S.; PEREIRA, M.G.; SILVA, R.A.C.; TORRES, J.L.R. & RAVELLI NETO, A. Fertilidade e carbono total e oxidável de Latossolo de Cerrado sob pastagem irrigada e de sequeiro. **Ciência Rural**, v.43, p.426-432, 2013b.
- LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; FERREIRA, E. P.; BEUTLER, S. J.; 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**. v. 14, p. 699-708, 2011.
- LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; FERREIRA, E.P.; SANTOS, L.L.; BEUTLER, S.J. & FERRAZ JÚNIOR, A.S.L. Frações oxidáveis do carbono orgânico do solo em sistema de aléias sob Argissolo Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p.867-874, 2009.
- LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; PERIN, A.; BEUTLER, S.J. & ANJOS, L.H.C. Oxidizable carbon and humic substances in rotation systems with brachiaria/livestock and pearl millet/no livestock in the Brazilian Cerrado. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 11, p. 217-231, 2013a.

- LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; COSTA, E.M. & BEUTLER, S.J. Frações granulométricas e oxidáveis de matéria orgânica sob diferentes sistemas de uso do solo, no Paraná, Brasil. **Bioscience Journal**, v. 30, p. 43-54, 2014.
- LOURENTE, E. R. P.; MERCANTE, F. M.; ALOVISI, A. M. T.; GOMES, C. F.; GASPARINI, A. S.; NUNES, C. M. Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 1, p. 20-28, 2011.
- 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, p.1177-1182, 2000.
- MARCOLAN, A. L.; ANGHINONI, I. Atributos físicos de um Argissolo e rendimento de culturas de acordo com o revolvimento do solo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 1, p. 163-170, 2006.
- OGLE, S. M.; SWAN, A.; PAUSTIAN, K. No-till management impacts on crop productivity, carbon input and soil carbon sequestration. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 149, n. 1, p. 37-49, 2012.
- OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; RESCK, D. V. S.; CURI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 2, p. 327-336, 2004.
- PAUL, B. K.; VANLAUWE, B.; AYUKE, F.; GASSNER, A.; HOOGMOED, M.; HURISSO, T. T.; KOALA, S.; LELEI, D.; NDABAMENYE, T.; SIX, J.; PULLEMAN, M. M. Medium-term impact of tillage and residue management on soil aggregate stability, soil carbon and crop productivity. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 164, n. 1, p. 14-22, 2013.
- PLANTE, A. F.; FERNÁNDEZ, J. M.; HADDIX, M. L.; STEINWEG, J. M.; CONANT, R. T. Biological, chemical and thermal indices of soil organic matter stability in four grassland soils. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 43, n. 5, p. 1051-1058, 2011.
- PLAZA-BONILLA, D.; CANTERO-MARTÍNEZ, C.; ÁLVARO-FUENTES, J. Tillage effects on soil aggregation and soil organic carbon profile distribution under Mediterranean semi-arid conditions. **Soil Use Management**, v. 26, n. 4, p. 465-474, 2010.
- QUINCKE, J. A.; WORTMANN, C. S.; MAMO, M.; FRANTI, T.; DRIJBER, R. A. Occasional tillage of no-till systems: carbon dioxide flux and changes in total and labile soil organic carbon. **Agronomy Journal**, v. 99, n. 4, p. 1158-1168, 2007.
- 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**, v. 32, p.429-437, 2008.

- ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. Embrapa: Dourados, 2002. 86p.
- ROSSI, C.Q.; PEREIRA, M.G.; GIACOMO, S.G.; BETTA, M. & POLIDORO, J.C. Frações húmicas da matéria orgânica do solo cultivado com soja sobre palhada de braquiária e sorgo. **Bragantia**, v. 70, p. 622-630, 2011.
- SÁ, J. C. M.; CERRI, C. C.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. E.; BUCKNER, J.; FORNARI, A.; SÁ, M. F. M.; SEGUY, L.; BOUZINAC, S.; VENZKE-FILHO, S. P.; PAULLETI, V.; NETO, M. S. O plantio direto como base do sistema de produção visando o sequestro de carbono. **Revista Plantio Direto**, v. 84, p.45-61, 2004.
- SALTON, J. C. **Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical**. 2008. (Tese de Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- SILVA, R. H.; ROSOLEM, C. A. Crescimento radicular de espécies utilizadas como cobertura decorrente da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 2, p. 253-260, 2001.
- 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 & Tillage Research**, v. 76, n. 1, p. 39-58, 2004.
- SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEFF, K. History of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil Tillage Research**, v. 79, p. 7-31, 2004.
- 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, p. 1113-1122, 2003.
- SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho distroférico de cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 1, p. 133-139, 2003.
- STEVENSON, F.J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. 2.ed. New York, Wiley, 1994. 496p.
- TAYLOR, S. A.; ASHCROFT, G. L. **Physical edaphology: the physics of irrigated and non-irrigated soils**. San Francisco: W.H. Freeman, 1972. 532 p.
- TORMENA, C. A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J. C.; COSTA, A. C. S.; FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 6, p. 1023-1031, 2004.
- TORMENA, C. A.; ROLOFF, G.; SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto

- influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 4, p. 301-309, 1998.
- TORRES, J. L. R.; FABIAN, A. J.; PEREIRA, M. G. Alterações dos atributos físicos de um Latossolo vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 3, p. 437-445, 2011.
- TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G.; ANDRIOLI, I.; POLIDORO, J.C. & FABIAN, A.J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 609-618, 2005.
- UMAKANT, M.; USSIRI, D.; LAL, R. Tillage effects on soil organic carbon storage and dynamics in Corn Belt of Ohio USA. **Soil & Tillage Research**, v. 107, n. 2, p. 88-96, 2010.
- VIANA, E. T.; BATISTA, M. A.; TORMENA, C. A.; COSTA, A. C. S.; INOUE, T. T. Atributos físicos e carbono orgânico em Latossolo vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 6, p. 2105-2114, 2011.
- VIRTO, I.; BARRÉ, P.; BURLLOT, A.; CHENU, C. Carbon input differences as the main factor explaining the variability in soil organic C storage in no-tilled compared to inversion tilled agrosystems. **Biogeochemistry**, v. 108, n. 1-3, p. 17-26, 2011.
- WANG, Y.; FU, B.; LÜ, Y.; SONG, C.; LUAN, Y. Local-scale spatial variability of soil organic carbon and its stock in the hilly area of the Loess Plateau, China. **Quaternary Research**, v. 73, n. 1, p. 70-76, 2010.
- WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, p. 487-494, 2005.
- WEST, T. O.; POST, W. M. Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: a global data analysis. **Soil Science Society of America Journal**, v. 66, n. 6, p. 1930-1946, 2002.
- 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, p. 247-258, 2006.
- YEOMANS, A.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communication Soil Science Plant Analysis**, v. 19, p. 1467-1476, 1988.
- ZECH, W.; SENESI, N.; GUGGENBERGER, G.; KAISER, K.; LEHMANN, J.; MIANO, T.M.; MILTNER, A. & SCHROTH, G. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. **Geoderma**, v.79, p.117-161, 1997.
- ZOTARELLI, L. **Influência do sistema de plantio direto e convencional com rotação de**

**culturas na agregação, acumulação de carbono e emissão de óxido nitroso num latossolo vermelho distroférico.** 2005. 117f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal R

**DATA E NOME DO COORDENADOR:**

**02/12/2014 – Marcos Gervasio Pereira**

---