



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**FRAÇÕES LÁBEIS E HUMIFICADAS DO CARBONO ORGÂNICO  
DO SOLO SOB SISTEMAS DE MANEJO COM SUCESSÃO SOJA-  
MILHO NO CERRADO**

**GÉSSICA PEREIRA DE SOUZA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA**

**BRASÍLIA/ DF**  
**JULHO/2013**



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**FRAÇÕES LÁBEIS E HUMIFICADAS DO CARBONO ORGÂNICO  
DO SOLO SOB SISTEMAS DE MANEJO COM SUCESSÃO SOJA-  
MILHO NO CERRADO**

**GÉSSICA PEREIRA DE SOUZA**

**ORIENTADOR: PROFESSOR DOUTOR CÍCERO CÉLIO DE FIGUEIREDO**  
**CO-ORIENTADOR: PESQUISADOR MESTRE DJALMA MARTINHÃO**  
**GOMES DE SOUSA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA**

**PUBLICAÇÃO: 066/2013**

**BRASÍLIA/ DF**  
**JULHO/2013**



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**FRAÇÕES LÁBEIS E HUMIFICADAS DO CARBONO ORGÂNICO  
DO SOLO EM SISTEMAS DE MANEJO COM SUCESSÃO SOJA-  
MILHO NO CERRADO**

**GÉSSICA PREIRA DE SOUZA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-  
GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM AGRONOMIA.**

**APROVADA POR:**

---

**CÍCERO CÉLIO DE FIGUEIREDO (Orientador)**

**Professor Doutor/ Universidade de Brasília/CPF: 029.754.447-02/ e-mail: cicerocf@unb.br**

---

**MARIA LUCRÉCIA GEROSA RAMOS (Avaliador interno)**

**Professora PhD/ Universidade de Brasília/ CPF: 002.094.438-12/ e-mail: lucrecia@unb.br**

---

**FÁBIO BUENO DOS REIS JUNIOR (Avaliador externo)**

**Pesquisador Doutor/ Embrapa Cerrados/ CPF: 004.620.897-62/ e-mail: fabio.reis@embrapa.br**

**BRASÍLIA/DF, 19 de Julho de 2013**

## FICHA CATALOGRÁFICA

SOUZA, Géssica Pereira

“FRAÇÕES LÁBEIS E HUMIFICADAS DO CARBONO ORGÂNICO DO SOLO EM SISTEMAS DE MANEJO COM SUCESSÃO SOJA-MILHO NO CERRADO”. Orientação: Cícero Célio de Figueiredo, Brasília, 2013. 102 páginas

Dissertação de Mestrado (M) – Universidade de Brasília / Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2013.

1. Frações do carbono 2. Compartimentos da matéria orgânica 3. Sistemas de manejo do solo

I. Figueiredo, C.C.de. II. Drº.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SOUZA, G.P. Frações lábeis e humificadas do carbono orgânico do solo em sistemas de manejo com sucessão soja-milho no Cerrado. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2013, 102 páginas. Dissertação.

## CESSÃO DE DIREITOS

**Nome do Autor:** GÉSSICA PEREIRA DE SOUZA

**Título da Dissertação de Mestrado:** Frações lábeis e humificadas do carbono orgânico do solo em sistemas de manejo com sucessão soja-milho no Cerrado

**Grau:** Mestre      **Ano:** 2013.

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado para única e exclusivamente propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva para si os outros direitos autorais, de publicação. Nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor. Citações são estimuladas, desde que citada à fonte.

---

GÉSSICA PEREIRA DE SOUZA

CPF: 024.862.491-17

Avenida Contorno quadra 18 casa 956 Vila Vicentina / CEP: 73.320-020 Planaltina, DF. Brasil

(61) 3046-0148/ (61) 8280-2211 / email: gessicapsouza@gmail.com

*Ofereço à todos os professores, pesquisadores  
e estudantes que de alguma forma  
participaram comigo nessa jornada!*

*À toda a minha família, em especial os  
meus amados: Elenice, Luiz Felipe e  
Fabiano.*

*Dedico.*

## **AGRADECIMENTOS**

*Primeiramente, agradeço a Deus por ser tão presente em minha vida, me conduzindo ao caminho correto a ser seguido e me concedendo bênçãos.*

*Agradeço a toda a minha família, pelo apoio incondicional ao longo desses anos. De forma especial, agradeço a minha mãe, por me conceder grandiosos valores e ser minha base, meu porto seguro. Agradeço também ao meu fiel companheiro, Fabiano Campêlo, que de forma especial me dar força e coragem para saber enfrentar diferentes situações, me apoiando nos momentos de dificuldades. Quero também agradecer ao meu filho, por encher os meus dias de motivação, coragem e alegria.*

*Ao doutor Cícero Célio de Figueiredo pela valiosa orientação, por ser o grande incentivador de minha vontade de pesquisar e aprender, por ter sido incansável e atencioso, pelos valiosos conselhos, por aceitar a tarefa de me orientar em um momento de dificuldades e acima de tudo pela amizade. Agradeço imensamente pela contribuição ao meu crescimento pessoal e profissional.*

*Ao pesquisador da Embrapa Cerrados Djalma Martinhão, por ter concedido a oportunidade de trabalhar em um de seus experimentos. Por me orientar com valiosa dedicação e cuidados. Agradeço por todos os ensinamentos, pelas críticas para a melhoria do trabalho, e por todas as contribuições para meu crescimento pessoal e profissional. Principalmente pela valiosa amizade e pelo apoio em momentos tão difíceis.*

*Aos pesquisadores da Embrapa Rafael Nunes e Fábio Bueno pelos ensinamentos e contribuições para essa dissertação.*

*Ao químico do Laboratório de Química do Solo, Luiz Eduardo agradeço imensamente, por todas as orientações dentro do laboratório e pela contribuição para essa dissertação.*

*Às novas amigadas que fiz e fortaleci durante a Pós-Graduação em Agronomia: Adriana Rodolfo, Juliana Sato, Jomara Moreno, Laryssa Teles, Jadson Belem, Rodrigo Fernandes. Agradeço por todos os momentos compartilhados, estudos em grupo e por fazerem desses anos, anos muito divertidos e prazerosos.*

*Às queridas colegas do Laboratório de Matéria Orgânica do Solo, Sara Dantas, Larissa Gomes, Júlia Emanuela pelas conversas, companhia e troca de conhecimentos.*

*Ao coordenador da Pós-Graduação em Agronomia pela bolsa concedida de estagiário técnico.*

*Aos professores da FAV da área de Solos, que muito me ensinaram e incentivaram.*

***Muito obrigada!***

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
2.1. Sistemas de Manejo do Solo .....	3
2.2. Importância da Matéria Orgânica do Solo.....	4
2.3. Compartimentos da Matéria Orgânica do Solo.....	5
2.4. Fracionamento da Matéria Orgânica do Solo .....	6
2.4.1. Fracionamento Químico de Substâncias Húmicas .....	7
2.4.2. Fracionamento Físico da Matéria Orgânica do Solo .....	9
2.4.3. Fracionamento Biológico ou do Carbono da Matéria Orgânica Viva.....	11
2.4.4. Frações Facilmente Oxidáveis do Carbono .....	12
<b>3. HIPÓTESES E OBJETIVO .....</b>	<b>15</b>
3.1. Hipóteses.....	15
3.2. Objetivos .....	15
3.2.1. Objetivo Geral .....	15
3.2.2. Objetivos específicos .....	15
<b>4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>16</b>
<b>CAPÍTULO ÚNICO.....</b>	<b>28</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>29</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>31</b>
2.1. Descrição da Área Experimental .....	31
2.2. Sistemas de Manejo Estudados.....	32
2.3. Amostragem do Solo .....	33
2.4. Rendimento Médio das Culturas e Quantidade de Carbono Adicionado .....	33
2.5. Análises Laboratoriais .....	34
2.5.1. Determinação do Carbono Orgânico Total.....	34
2.5.2. Fracionamento Físico Granulométrico .....	34
2.5.3. Fracionamento Químico de Substâncias Húmicas .....	34
2.5.4. Fracionamento Sequencial de Frações Oxidáveis do Carbono em Diferentes Concentrações de Ácido Sulfúrico.....	36
2.5.5. Oxidação do Carbono por Permanganato de Potássio.....	36
2.6. Carbono da Biomassa Microbiana .....	37
2.7. Atividade Enzimática.....	38
2.8. Análise Estatística.....	38
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>40</b>

3.1. Regressão em Árvore do Carbono Orgânico Total do Solo e suas Frações Comparando Sistemas de Preparo e Planta de Cobertura.....	40
3.2. Teor de Carbono Orgânico Total do Solo.....	42
3.3. Frações Lábeis do Carbono Orgânico Total .....	46
3.3.1. Relação entre Frações Lábeis .....	57
3.4. Atividade de Enzimas do Solo.....	61
3.4.1. Correlação de Enzimas do Solo com Frações Lábeis e Carbono Orgânico Total .....	65
3.5. Carbono de Frações Húmicas do Carbono Orgânico Total do Solo .....	66
3.6. Análise Conjunta dos dados de Carbono Orgânico Total e suas Frações.....	75
<b>4. CONCLUSÕES.....</b>	<b>79</b>
<b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>80</b>



# **FRAÇÕES LÁBEIS E HUMIFICADAS DO CARBONO ORGÂNICO DO SOLO EM SISTEMAS DE MANEJO COM SUCESSÃO SOJA-MILHO NO CERRADO**

## **RESUMO**

O estudo do carbono (C) orgânico do solo por meio de suas frações lábeis, microbiológicas e humificadas visa obter informações sobre estabilidade e localização da matéria orgânica (MOS), bem como sua quantidade e qualidade em sistemas de uso do solo. Várias metodologias têm sido desenvolvidas com o intuito de melhor compreender a importância da MOS por meio de diferentes frações. No entanto, os diversos procedimentos analíticos para determinação de frações lábeis da MOS precisam ser avaliados e comparados em solos sob sistemas de manejo em experimentos de longa-duração. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do manejo do solo baseado em sistemas de preparo, plantas de cobertura e adubação fosfatada nos teores de C em frações lábeis e humificadas, bem como a atividade enzimática. O solo foi cultivado por 11 anos na sucessão soja-milho. O experimento foi iniciado em 1999 em um Latossolo Vermelho argiloso com teor de fósforo (P) adequado para obtenção de 80 a 90 % de rendimentos potenciais de culturas anuais. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com parcelas divididas, com três sistemas de manejo do solo (sistema de preparo convencional com milho – SPCml, sistema plantio direto com milho – SPDml e sistema plantio direto com mucuna-preta - SPDmc) nas parcelas e duas doses de P (0 e 100 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de superfosfato triplo, aplicados no sulco de semeadura - P0 e P1, respectivamente) nas subparcelas. Amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0–5, 5–10 e 10–20 cm de profundidade e determinados os teores de carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), carbono da biomassa microbiana (CBM), das frações oxidáveis F1+F2, carbono lábil (CL) e da matéria orgânica leve (CMOL) e o carbono das frações ácido fúlvico livre (AFL) ácido fúlvico (AF), ácido húmico (AH) e da humina (HU). O SPD, de modo geral, promoveu estratificação das frações de C avaliadas, enquanto o SPC promoveu uma distribuição mais homogênea nas camadas de solo. As principais alterações ocorreram na camada superficial (0-5 cm), onde de maneira geral, o SPDml apresentou os maiores valores de C das frações estudadas. As frações lábeis, humificadas e a atividade enzimática apresentaram sensibilidade ao manejo do solo, com teores reduzidos no SPCml. A adubação fosfatada por 11 anos promoveu acúmulo de C em suas diferentes frações no solo, independentemente do sistema de preparo e das plantas

de cobertura. Em relação ao SPD, de maneira geral, aquele com planta de cobertura milheto, promoveu os maiores teores de C nas diferentes frações. As frações humificadas representaram, em média, 80% do COT, sendo 11% AFL, 24% AF, 13% AH e 32% HU. Entre as frações lábeis, o COP correspondeu em média a 14% do COT e as demais frações, CL, CMOL e CBM corresponderam em média a 11, 4 e 2% do COT, respectivamente, independente dos sistemas de manejo e da dose de P aplicada. Em relação a facilidade metodológica de determinação e relação com o método referência que é o COP, a fração CL pode ser considerada como o melhor indicador de labilidade do COT. Verificou-se elevada correlação positiva entre todas as frações lábeis da MOS.

**Termos de indexação:** frações do carbono, compartimentos da matéria orgânica, sistemas de manejo do solo, plantio direto.

**LABILE AND HUMIFIED SOIL ORGANIC CARBON IN MANAGEMENT  
SYSTEMS WITH SUCCESSION SOYBEAN-CORN IN SAVANNAH**

**ABSTRACT**

The study of soil organic carbon (C) through its labile, microbiological and humified pools aim to get information on location and stability of soil organic matter (SOM), as well as their quantity and quality under land-use systems. Several methodologies have been developed in order to better understand the importance of MOS through different fractions. However, the various analytical procedures for determination of labile SOM need to be evaluated and compared in soils under management systems on long-term experiments. The aim of this study was to evaluate the effect of soil management based on tillage systems, cover crops and phosphate fertilizer on C content in labile and humified and enzyme activity. The soil was cultivated for 11 years in succession soybean-corn. The experiment was installed in 1999 in an Oxisol with phosphorus (P) suitable for obtaining 80-90% of potential yields of annual crops. The experimental design was a randomized block with split plots with three soil tillage systems (conventional tillage with millet - SPCml, no-tillage with millet - SPDml and no-tillage with velvet bean - SPDmc) in plots and two P levels (0 and 100 kg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> as triple superphosphate, applied at sowing - P0 and P1, respectively) in subplots. Soil samples were collected at 0-5, 5-10 and 10-20 cm deep and determined the levels of total organic carbon (COT), particulate organic carbon (COP), microbial biomass carbon (CBM), the oxidizable fractions F1+F2, labile carbon (CL) and light organic matter (CMOL) and carbon fractions of free fulvic acid (AFL) fulvic acid (AF), humic acid (AH) and humin (HU). The SPD, in general, promoted stratification of C fractions, while the SPC promoted a more homogeneous distribution in soil layers. The main changes occurred in the surface layer (0-5 cm), where in general, the SPDml presented the highest values of C fractions studied. The labile and humidified C fractions and enzymatic activity showed sensitivity to soil management, with reduced levels in SPCml. Phosphorus fertilization for 11 years promoted accumulation of C in its different fractions in soil, regardless of tillage and cover crops. Regarding the SPD, in general, the one with cover crop millet, showed the highest C content in different fractions. Humified fractions accounted for 80% of the COT. Among the labile fractions, COP corresponded to 14% of the TOC and the other fractions, CL, CMOL

and CBM represented about 11, 4 e 2% COT, respectively, independent of management systems and dose of P applied. The CL fraction was considered the best indicator of labile soil organic carbon, given its relative ease and methodological relationship with the reference method. There were high positive correlations between all labile fractions.

**Index Terms:** carbon fractions, organic matter pools, soil management systems, no-tillage.

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O Cerrado brasileiro, que abrange cerca de 204 milhões de hectares, é considerado um ecossistema de grande biodiversidade e elevado potencial para produzir alimentos (Sano et al., 2009). A exploração desse bioma se intensificou entre as décadas de 1960 e 1970 com a expansão da fronteira agrícola no Brasil. A partir desse período, os solos antes considerados impróprios para a agricultura por causa da acidez e deficiência generalizada de nutrientes, passaram a ser intensamente ocupados e explorados, principalmente pelo setor agropecuário.

A conversão de áreas nativas do Cerrado em sistemas agrícolas tem provocado, em algumas situações, a degradação de áreas devido a sua exploração inadequada. Normalmente, essa degradação está associada a perdas da matéria orgânica do solo (MOS), que desempenha funções fundamentais para o adequado funcionamento do solo. A importância da MOS em relação às propriedades químicas, físicas e biológicas do solo é amplamente reconhecida (Segnini, 2007).

Sistemas de produção agrícola, baseados na conservação do solo, diversificação de culturas, reciclagem de nutrientes, uso sistemático de adubos orgânicos e minerais, e outras práticas têm sido propostos como estratégia para recuperação do solo degradado com intuito de equilibrar a produtividade com a conservação do meio ambiente e favorecer o incremento do material orgânico no solo (Roscoe et al., 2006).

Dentre esses sistemas, o plantio direto (SPD) tem grande destaque, pois consiste em revolvimento de solo restrito a linha de semeadura. Esse sistema associado a plantas de cobertura com elevada deposição de resíduos vegetais, tanto em superfície, quanto por via radicular promove um aumento considerável nos estoques de MOS, tendo como consequência elevados índices de produtividade (Nunes et al., 2011), comparados a sistemas de preparo convencional (SPC). No entanto, quando se refere ao aumento da produtividade e da MOS nos solos do Cerrado, o uso de fósforo (P) no sistema é um fator crucial, pois estes solos apresentam baixos teores desse nutriente. Como observado por Sousa et al. (2010), os teores de MOS na camada de 0-20 cm variaram de 24,0 a 37,0 g kg<sup>-1</sup> solo devido a diferenças nos aportes de resíduos vegetais em função de doses de P utilizadas em sistemas de cultivos anuais e pastagem.

Porém, alguns estudos, em solos muito intemperizados, como os do Cerrado, demonstram que pode não haver diferença entre os teores de MOS de sistemas

convencionais e sob plantio direto (Freitas et al., 2000; Roscoe & Burman, 2003). Essa ausência de diferença normalmente ocorre em áreas com pouco tempo de adoção do plantio direto e quando são considerados apenas os teores de carbono orgânico total, a maior parte relativamente estabilizada ou protegida no solo, decorrente da forte interação da matéria orgânica humificada com a fração argila. Esse controle textural sobre o carbono orgânico é mais intenso em solos intemperizados como os que predominam no Cerrado (Zinn et al., 2005).

Nesse aspecto, a avaliação da MOS considerando apenas os teores do carbono orgânico total pode não expressar as mudanças decorrentes dos sistemas de manejo utilizados (Figueiredo et al., 2013). Além da tradicional técnica de separação de substâncias húmicas, nos últimos anos, diversas técnicas de fracionamentos da matéria orgânica têm sido desenvolvidas e aperfeiçoadas com o objetivo de melhor compreender as alterações proporcionadas pelos sistemas de manejo do solo e de culturas utilizados. Estas técnicas, normalmente, propiciam a separação de frações lábeis e recalcitrantes do carbono orgânico (Blair et al., 1995; Cambardella & Elliot, 1992; Chan et al., 2001).

Há, entretanto, uma grande variação nas técnicas de fracionamento que envolvem frações separadas química, física e biologicamente. Além disso, na maior parte dos trabalhos, são utilizados um dos tipos de fracionamentos, o que deixa dúvidas sobre as relações entre frações lábeis obtidas por técnicas distintas.

Experimentos de longo prazo em solos do Cerrado, com sistemas de manejo convencionais e conservacionistas, arranjos culturais e adubação mineral propiciando diferentes aportes de resíduos orgânicos, ainda são escassos. Consequentemente trabalhos que relacionem as frações lábeis e humificadas do carbono orgânico obtidas por diferentes técnicas são poucos em experimentos de longo prazo.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Sistemas de Manejo do Solo**

O preparo do solo é uma prática que afeta ou interage com uma série de características do seu perfil, pois atua diretamente sobre sua estrutura (Matos et al., 2008). O preparo, em determinadas situações, é fundamental para o estabelecimento e desenvolvimento das culturas e se constitui de práticas simples que utilizadas racionalmente proporcionam retorno econômico na produção de grãos. No entanto, o seu uso inadequado pode levar à degradação do solo em curto prazo.

Até o final da década de 60 o sistema de preparo do solo utilizado era o de preparo convencional. Essa prática consiste no revolvimento das camadas superficiais do solo, em torno de 20 cm para incorporar fertilizantes e corretivos, além de aumentar espaços porosos e elevar a permeabilidade e o armazenamento de água e ar no solo (Braunack & Dexter, 1989). Porém, ao longo dos anos o uso inadequado desse sistema de preparo associado ao monocultivo de soja, pode trazer sérios problemas ao solo como erosão hídrica (Santos & Tomm, 2003), além de alterar vários atributos físicos, químicos e biológicos (Carneiro et al., 2009) bem como a redução de carbono orgânico. Essa redução pode ser atribuída às operações mecanizadas de revolvimento do solo, que desestabilizam a MOS e a tornam suscetível à ação microbiana com a liberação de C-CO<sub>2</sub> à atmosfera e consequente diminuição dos estoques de carbono do solo (Lal, 2008).

Com a finalidade de controlar a erosão hídrica do solo, o plantio direto foi introduzido no Brasil, na década de 1970 e se baseava no revolvimento do solo apenas na linha de semeadura e no acúmulo de palhada na superfície, reduzindo os efeitos danosos dos sistemas de preparo convencional (Roscoe et al., 2006).

Por manter a maior parte dos resíduos culturais na superfície sem incorporação, o SPD permite menores taxas de decomposição da MOS, o que favorece a manutenção e o acúmulo desta ao longo do tempo, dependendo da capacidade de aporte de biomassa vegetal da cultura (Bayer & Mielniczuk, 2008). De acordo com estes autores, além do acúmulo de palhada na superfície, o uso desse sistema pode fazer com que os teores de carbono orgânico, nutrientes e a capacidade de troca de cátions sejam maiores comparados a outros sistemas.

Nesse aspecto, o uso de técnicas como rotação de culturas e uso de plantas de cobertura associadas a sistemas de preparo conservacionistas como o plantio direto promovem a melhoria da quantidade e da qualidade de resíduos culturais na superfície do solo (Loss et al., 2009a), pois os restos culturais de diferentes espécies cultivadas resultam em quantidades e tempo de permanência no solo diferenciados (Bayer et al., 2004).

Gramíneas como milho proporcionam uma boa quantidade de resíduos culturais na superfície do solo (Cruz et al., 2006). A rotação soja-milho apresenta grande vantagem no incremento de matéria seca, possibilitando aumentos nas produtividades de ambas as culturas. Alguns estudos demonstram que o uso de gramíneas em relação a leguminosas em sucessões com culturas anuais possibilitam maiores índices de agregação, bem como maiores teores de carbono no solo, pois a quantidade de material aportado pelas gramíneas é geralmente maior comparado a leguminosas (Coutinho et al., 2010; Nunes et al., 2011).

Além de proporcionar aumento nos teores totais de CO no solo, os sistemas de culturas, com plantas de cobertura também aumentam os teores de C em suas diferentes frações. Segundo Pereira et al. (2010), os sistemas de manejo sob SPC e o SPD com uso do milheto como planta de cobertura, proporcionaram a incorporação mais profunda do carbono, com aumento da fração leve da MOS.

Um fator que limita a expansão do plantio direto no Cerrado é a reduzida disponibilidade de espécies para a rotação que se adaptem ao clima da região e que apresentem boa produção de matéria seca para cobertura do solo (Cruz et al., 2006). Outro aspecto limitante no Cerrado é a disponibilidade de P para um bom desenvolvimento das culturas, uma vez que esses solos apresentam teores originalmente muito baixos e elevada adsorção à fase sólida (Sousa & Lobato, 2004). A adubação fosfatada permite uma maior produção de biomassa vegetal para culturas como milho, soja, milheto e mucuna, portanto uma maior incorporação de COT no solo (Nunes et al., 2011). Os teores de COT são favorecidos pela adubação fosfatada, independente do modo de aplicação, tanto em profundidade quanto na distribuição horizontal (Jerke et al., 2012).

## **2.2. Importância da Matéria Orgânica do Solo**

Em sentido amplo a MOS é composta por organismos vivos, resíduos de plantas e animais pouco ou bem decompostos, que variam consideravelmente em estabilidade e



estágio variado de decomposição. É o componente do solo mais complexo, dinâmico e reativo, além de contribuir para o crescimento e desenvolvimento das plantas através do seu efeito sobre as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (Tabatabai, 1996).

A MOS apresenta efeito nas propriedades químicas do solo além de ser fonte de C, N, P e S para o crescimento das plantas, ter grande capacidade de troca catiônica (CTC), e complexação de elementos tóxicos e micronutrientes. Nos solos do Cerrado a alta contribuição da MOS na CTC deve-se a presença de argilas de baixa atividade, composta basicamente por caulinita, gibsitita e óxidos de ferro e alumínio (Adamoli et al., 1986). Comparando-se com a caulinita que apresenta CTC baixa ( $3-5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ), a fração húmica da MOS pode gerar em torno de 400 a 1400  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , justificando a sua significativa importância na CTC desses solos. No que se refere ao fornecimento de nutrientes pela MOS, a qualidade e quantidade de resíduos aportados no solo bem como a atividade microbiana e suas enzimas afetam diretamente esse mecanismo (Singh et al., 1989).

A MOS apresenta ainda efeito biológico, pois atua como fonte de COT, energia e nutrientes para os microrganismos. Além disso, promove efeito físico ao favorecer uma boa estrutura ao solo, melhorando assim a retenção de água, aeração, porosidade e densidade (Mielniczuk, 2008). A MOS influencia a agregação, pois é responsável pelas ligações de polímeros orgânicos com a superfície inorgânica por meio de cátions polivalentes (Tisdall & Oades, 1982).

Nesse contexto, a matéria orgânica é um componente fundamental da capacidade produtiva dos solos em razão dos seus efeitos sobre as propriedades do solo. Desse modo, deve-se levar em consideração a adoção de sistemas de uso e manejo do solo que favoreçam o aumento ou manutenção de seus teores, para usufruir-se dos efeitos benéficos da MOS.

### **2.3. Compartimentos da Matéria Orgânica do Solo**

A MOS possui um conjunto heterogêneo de compostos orgânicos com variado grau de complexidade e diversidade estrutural (Carter, 2001). Portanto, entendê-la como um todo, ainda é um processo extremamente difícil a ser realizado. Essa heterogeneidade induz a definição de compartimentos, podendo ser explicados por diferentes modelos conceituais, baseados em localização, composição química ou grau de estabilidade do material orgânico (Diekow, 2003).

Diversos modelos conceituais foram desenvolvidos para subdividir a matéria orgânica em diferentes compartimentos. No modelo mais genérico, apresentado por Theng (1987) a MOS pode ser dividida em dois compartimentos: matéria orgânica viva e matéria orgânica morta. A fração viva é composta por raízes (5-10%), fauna (15-30%) e microrganismos (60-80%) representando ao todo 4% do COT do solo. Já a fração morta é subdividida em matéria macrorrgânica ou fração leve que consiste de resíduos de plantas e animais em decomposição e húmus que consiste de substâncias húmicas e não húmicas.

Duxbury et al. (1989) descrevem os componentes da matéria orgânica como reservatórios. O reservatório BIO (biológico) é constituído pela fauna e pelos microrganismos do solo. O reservatório LAB (lábil) é formado de materiais que estão prontamente disponíveis para decomposição por ataque microbiano. Os reservatórios POM (fisicamente protegidos pela estrutura do solo) e COM (quimicamente protegido) são dotados de mecanismos que os protege da decomposição microbiana.

Com base no grau de estabilidade que as frações orgânicas possuem ao ataque microbiano, pode-se estabelecer um terceiro grupo de frações orgânicas (Baldock & Nelson, 2000). De forma simplificada, duas frações podem ser estabelecidas a partir desse modelo: a lábil e a estável. A primeira é mais propensa ao ataque microbiano que a segunda, pois sua localização física e sua composição química permitem isso, como, por exemplo, a celulose localizada na matéria orgânica particulada. São exemplos de fração estável as substâncias húmicas associadas aos minerais, cujos compostos apresentam recalcitrância molecular e atuam na proteção coloidal.

Em termos teóricos, os compartimentos da MOS são estabelecidos arbitrariamente com base em critérios de localização, composição química ou grau de estabilização. Porém, em termos práticos, faz-se necessário o uso de métodos de fracionamento químico e físico da MOS, o que nem sempre irá determinar exatamente a fração estabelecida em termos teóricos (Diekow, 2003). Este fato reforça a necessidade de se comparar os teores de carbono em frações lábeis obtidas por diferentes técnicas de fracionamento, bem como as frações humifadas.

#### **2.4. Fracionamento da Matéria Orgânica do Solo**

Os diversos métodos de fracionamento da matéria orgânica do solo são baseados principalmente na sua localização na matriz mineral (fracionamento físico por tamanho de partícula), no seu grau de associação com a fração mineral (fracionamento físico por

densidade) ou em características de solubilidade dos compostos orgânicos (fracionamento químico) (Pilon et al., 2002).

#### ***2.4.1. Fracionamento Químico de Substâncias Húmicas***

O fracionamento químico da MOS baseia-se em suas diferentes propriedades físico-químicas, como solubilidade, carga de superfície e sorção. Geralmente é empregado em estudos que objetivam caracterizar química e estruturalmente os compostos húmicos, além de avaliar o grau de decomposição e reatividade dos compartimentos químicos resultantes no ambiente (Dick et al., 2009).

O uso dessa técnica auxilia na avaliação do impacto de diferentes manejos nos teores de carbono das frações húmicas do solo (Silva et al., 2009; Martins et al., 2009; Loss, et al., 2010), além de auxiliar no entendimento da pedogênese (Fontana et al., 2008), da melhoria das propriedades físicas do solo (Roth et al., 1992), das interações organo-minerais (Dick et al., 2000) e da diminuição da adsorção específica do fósforo (Fontes et al., 1992).

O procedimento clássico de extração do solo resulta em três frações principais, que se diferem quanto a solubilidade no meio aquoso em função do pH da solução extratora: ácidos húmicos (AH) que são solúveis em meio alcalino e insolúveis em meio fortemente ácido; ácidos fúlvicos (AF) que apresentam grande quantidade de grupamentos funcionais oxigenados e são solúveis tanto em meio ácido como básico; e huminas (HU) que representam a matéria orgânica intimamente ligada à fração mineral do solo, e por isso insolúvel (Canellas et al., 2001; Dick & Martinazzo, 2006).

No entanto, dependendo do objetivo e especificidade da análise, outros procedimentos de extração podem ser aplicados, como por exemplo, o método proposto por Kononova (1982), que se baseia na separação do material não humificado do material humificado através de diferenças na densidade específica. Neste caso, normalmente é utilizado o  $H_3PO_4$  para a separação da MOS não humificada. Durante esse processo também pode ser separada a fração contendo os ácidos fúlvicos livres (AFL) que apresenta elevada mobilidade e não se encontra ligada ao material mineral (Guerra & Santos, 1999).

Cunha et al. (2001) verificaram o impacto do preparo convencional nas frações húmicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo e observaram que o AFL foi a única das frações húmicas que não apresentou valores inferiores no sistema de preparo

convencional em relação ao Cerrado nativo, mostrando ser uma fração que não apresenta sensibilidade em relação ao manejo do solo.

A distribuição do C nas frações humificadas varia com o tipo de solo, tipo de vegetação, do uso e manejo e das condições climáticas e de drenagem (Dick et al., 2009).

Dentre as frações humificadas a fração AFL e AF são consideradas mais móveis, pois apresentam menor peso molecular e maior polaridade revelando maior solubilidade. Diversos autores encontraram maiores quantidades de COT nessas frações em maiores profundidades do solo (Silva & Mendonça, 2007; Passos et al., 2007; Dick et al., 2009).

A fração AH participa da maioria das reações que ocorrem no solo, favorecendo a agregação e estabilidade dos agregados pela formação de complexos organominerais, além de servir como reserva de nutrientes às plantas (Canellas et al., 2000).

A fração HU é estruturalmente composta em maior quantidade por lignina e sendo assim quimicamente mais recalcitrante (Tomasi, 2011). Tem a tendência de decrescer em profundidade e pode contribuir com mais de 50% do C na camada de 0-5 cm do solo (Dick et al., 2009). Essa predominância da fração HU está relacionada à sua insolubilidade e resistência à biodegradação favorecida pela formação de complexos argilo-húmicos estáveis (Passos et al., 2007; Silva et al., 2011; Fontana et al., 2011).

Os teores de HU podem decrescer em sistemas que utilizam rotações ou plantas de cobertura com alta relação C:N, pois o tempo de decomposição dessas plantas é maior ocasionando menores teores de carbono nessa fração, pois a HU é o produto final da MOS. Assis et al. (2006) avaliando sistemas de rotações de culturas em plantio direto, verificaram menor conteúdo da fração HU na área de plantio direto rotacionado com tifton em relação aos outros tratamentos em todas as camadas e classes de agregados avaliados. Os autores atribuem este menor acúmulo à alta relação C:N do tifton, gramínea perene, o que lhe confere maior tempo de decomposição quando comparadas aos outros sistemas.

Valores da relação AH /AF tem sido proposto como parâmetro de estabilidade da MOS (Kononova, 1982). Segundo essa autora, valores superiores a 1 representam solos férteis e de ambientes temperados e matéria orgânica mais estabilizada. Já em ambientes tropicais compostos por solos de fertilidade natural baixa, altamente intemperizados, diminui consideravelmente a intensidade dos processos de humificação, o que determina o baixo valor para essa relação, menores que 1.

Em ambiente de lavoura cultivada durante 40 anos, a relação AH /AF foi maior em relação a ambientes naturais, mesmo apresentando menor concentração de COT (Tomasi, 2011). De acordo com esse autor, isso indica que o C presente nesse ambiente apresenta maior estabilidade, além de indicar maior mobilidade na forma de AF.

#### **2.4.2. Fracionamento Físico da Matéria Orgânica do Solo**

Outra técnica usada para estudar frações ou compartimentos da matéria orgânica é o chamado fracionamento físico. Comparado ao fracionamento químico, o físico é menos destrutivo no que se refere à estrutura e se relaciona diretamente com a função e estrutura da MOS *in situ* (Christensen, 1992).

De acordo com Roscoe & Machado (2002), o fracionamento físico pode ser classificado em dois tipos de métodos: os densimétricos e os granulométricos.

O método de fracionamento densimétrico baseia-se na separação de frações orgânicas com base na densidade das partículas, obtendo-se a fração leve (FL), que corresponde à MOS não associada aos minerais, e a fração pesada (FP), a qual é associada aos minerais (Roscoe & Machado, 2002; Conceição et al, 2008). A FL pode ser separada em FL-livre ou interagregados (FLL) e FL-oclusa ou intragregados (FLO). Estas três frações (FLL, FLO e FP) apresentam diferentes funções e permitem fazer inferências sobre a atuação dos mecanismos de estabilização da MOS no solo (estabilidade química, proteção física e estabilidade coloidal) (Christensen, 1992; Golchin et al., 1994; Lützwow et al., 2007; Conceição et al., 2008).

Outras formas de fracionamento físico são feitas por meio de quantificações de frações leves obtidas através de flotação do material orgânico em líquido de densidade variando de 1,6 a 2,0 kg L<sup>-1</sup> (Sohi et al., 2001) ou até mesmo em água (Anderson & Ingran, 1989).

O fracionamento granulométrico envolve a separação da MOS em função do seu próprio tamanho ou de partículas às quais está associada. A separação geralmente é feita por peneiração e sedimentação. A fração de tamanho areia (> 53µm) corresponde à matéria orgânica particulada (MOP), pela qual, é caracterizada como partículas derivadas de resíduos de plantas e hifas com estruturas celulares reconhecíveis cuja permanência no solo está condicionada a proteção física desempenhada por agregados. A fração granulométrica de tamanho silte e argila (< 53µm), corresponde a matéria orgânica associada aos minerais (MOM), são separadas por sedimentação com aceleração centrífuga ou gravitacional, sendo definida como a fração da MOS que

interage com a superfície de partículas minerais, formando complexos organominerais estando protegida pelo mecanismo de proteção coloidal (Golchin et al., 1994; Christensen, 1996; Dick et al., 2008).

Os teores de MOP e a FLL constituem indicadores sensíveis às alterações provocadas pelas práticas agrícolas e têm sido utilizadas para avaliar alterações de C no solo, em curto e médio prazo (Conceição, 2006; Lima et al., 2008). Já a MOM e FP são menos afetados pelo sistema de manejo e uso do solo em curto período de tempo (Santos et al., 2012). Isto se deve ao fato de apresentarem predominantemente material altamente decomposto e estabilizado principalmente por interações com partículas de minerais (Baldock & Nelson, 2000).

Conforme comprovado por Campos et al. (2011) em experimento de longo prazo (19 anos) a MOP foi um indicador eficiente da qualidade dos sistemas de manejo, pois foi mais sensível às alterações do sistema de manejo. Já a MOM foi um importante dreno de C-CO<sub>2</sub> atmosférico.

Normalmente, em áreas nativas são verificados maiores teores de MOP quando comparado aos sistemas agrícolas. Santos et al. (2012) verificaram maiores teores de MOP e FLL em campo nativo (CN) comparado ao SPD e SPC. Os teores de MOP e FLL decresceram na ordem CN>SPD>SPC. Segundo esses autores o efeito positivo do SPD sobre os teores de MOP e FLL, em relação ao SPC, na camada superficial, pode estar relacionado à maior adição e manutenção dos resíduos culturais na superfície, em adição à diminuição da atividade microbiana pela redução da temperatura e menor aeração do solo. Sob Cerrado nativo foram observados maiores teores de FLL quando comparados a diversos sistemas de manejo (Carneiro et al., 2009).

O tipo de cultura envolvida no sistema de produção é fundamental para aumentar os teores de carbono em frações lábeis da matéria orgânica. A introdução de braquiária em SPD promoveu efeito positivo sobre os teores de carbono, preferencialmente na forma de COP (Rossi et al., 2012). Nesta fração os teores de carbono chegam a ser superiores ao carbono associado aos minerais (<53 µm), principalmente quando há a presença de braquiárias nos sistemas (Martins et al., 2009). Figueiredo et al. (2010) também encontraram altos teores de MOP no sistema sob pastagem no Cerrado. Estes autores sugerem que cuidados devem ser tomados quanto à gestão dessas pastagens, considerando que, por ser mais lábil, a MOP pode ser rapidamente decomposta, constituindo uma reserva frágil de carbono no solo.

### ***2.4.3. Fracionamento Biológico ou do Carbono da Matéria Orgânica Viva***

A biomassa microbiana do solo (BM) é considerada a fração viva da MOS. É constituída por fungos, bactérias e actinomicetos que atuam em processos como, formação do solo (intemperização das rochas) e decomposição de resíduos orgânicos (ciclagem de nutrientes) (Reis Junior & Mendes, 2007). É considerada um componente lábil da fração orgânica do solo e representa de 1 a 4% do C orgânico total do solo (Jenkinson & Polwison, 1976), porém grande ênfase tem sido dada a esse componente por responder mais rapidamente às alterações ocorridas no solo, causadas pelos sistemas de manejo.

A BM é influenciada pelas variações de umidade e temperatura, aeração do solo, disponibilidade de nutrientes e pelos resíduos orgânicos. O sistema de manejo adotado pode modificar esses fatores, em razão da forma como os resíduos das culturas anteriores são depositados e do grau de revolvimento do solo (Vargas & Scholles, 2000, Perez et al., 2004).

Diversos trabalhos evidenciam que práticas de manejo com menor revolvimento do solo e acúmulo de resíduos em superfície podem resultar em um incremento maior da biomassa microbiana (De-Polli & Guerra, 2008; Silva et al, 2010; Nunes et al., 2011). Carneiro et al. (2009) observaram que todos os sistemas e usos alteraram os teores de carbono da biomassa microbiana (CBM), apresentando reduções de 56, 72 e 80% para área com sorgo em SPD, nabo em SPD e milho em SPC, respectivamente, em relação ao Cerrado.

As alterações no CBM devido ao preparo do solo podem ocorrer em função da disponibilidade e acesso ao substrato de carbono pelos microrganismos e/ou ainda pelas variações nos padrões metabólicos, ou ainda pelas alterações na composição das comunidades microbianas, causadas pelo preparo do solo e pela espécie vegetal que é cultivada (Alvarez et al., 1995). Uma maior aeração e incorporação de resíduos orgânicos, devido ao revolvimento e mobilização do solo, como no preparo convencional, a princípio pode elevar o CBM, mas com o passar do tempo, pode ter efeitos desfavoráveis em seus teores (Perez et al., 2004).

O sistema de plantio direto (SPD) proporciona condições favoráveis para o desenvolvimento dos microrganismos na camada superficial do solo, devido ao não revolvimento do solo e a deposição de resíduos vegetais originados das culturas instaladas. Com isso o CBM é maior nas camadas superficiais do solo neste sistema

quando comparado ao sistema convencional (D'Andrea et al., 2002; Matias et al., 2009).

Há evidências de que o tempo de adoção do SPD e o aumento dos teores de argila favorecem o aumento do C e do N da biomassa microbiana (Venkze Filho et al., 2008). Assim como o manejo, a rotação de culturas também afeta o CBM. Grande quantidade de C na forma de BM sugere que o solo sob SPD confere maior quantidade de C-lábil à MOS do que o sistema convencional (Balota et al., 2003).

Os microrganismos são considerados as principais fontes de enzimas do solo (Ajwa et al., 1999; Aon et al., 2001). Das enzimas presentes no solo as que degradam a MOS possui particular interesse, sendo duas (celulase e  $\beta$ -Glicosidase) muito importantes por degradar a celulose, um dos componentes vegetais mais abundantes na natureza, tendo grande importância no ciclo do carbono (Tabatabai, 1994).

A celulase é considerada a enzima que dá início à degradação da celulose. Em solos de Cerrado os trabalhos sobre a atividade dessa enzima são poucos, mas alguns mostram que sua atividade está diretamente relacionada à adição de material orgânico, principalmente, rico em celulose (Marchiori Junior & Melo 1999; Cenciane et al., 2008).

Já a  $\beta$ -Glicosidase é uma das enzimas mais comuns encontradas no solo, atua na etapa final de degradação da celulose, liberando como produto a glicose, que é uma importante fonte de energia para os microrganismos (Makoi & Ndakidemi, 2008). Esta enzima pode ser encontrada em microrganismos, plantas e células animais, e sua atividade pode ser influenciada pela temperatura do solo, pH, qualidade e conteúdo de matéria orgânica (Tabatabai, 1994).

#### ***2.4.4. Frações Facilmente Oxidáveis do Carbono***

A adoção de procedimentos que oxidam frações mais lábeis do carbono tem sido feita para melhor compreensão do resultado de diferentes práticas de manejo sobre o carbono orgânico do solo. Conceitualmente, o carbono lábil é aquele constituinte de compostos orgânicos mais facilmente mineralizados pelos microrganismos do solo (Rangel et al., 2008).

Com o objetivo de avaliar diferentes frações de oxidação do C do solo, Chan et al. (2001) introduziram uma modificação no método clássico de determinação do CO desenvolvido por Walkley & Black (1934). No método original, o C era determinado



pela utilização de uma única concentração de ácido sulfúrico ( $12 \text{ mol L}^{-1}$ ) e, com a modificação proposta por Chan et al. (2001), foi possível separar quatro frações com graus decrescentes de oxidação, por meio da utilização de quantidades menores de ácido sulfúrico. Essas frações foram denominadas de F1, F2, F3 e F4.

As frações F1 e F2 apresentaram maior labilidade no solo, enquanto que F3 e F4 são frações consideradas mais resistentes (Chan, et al., 2001). A fração F1 pode ser considerada um bom indicador de sustentabilidade do sistema, uma vez que se correlaciona altamente com a produtividade de culturas como o milho e o arroz (Manjunder et al., 2008). A fração mais resistente (F4) é denominada de compartimento passivo do C, nos modelos de simulação da dinâmica da MOS, com um tempo de reciclagem de até 2000 anos (Chan et al., 2001).

Loss et al. (2009b) sugerem que seria interessante um sistema de manejo que favorecesse a manutenção de proporções equilibradas de C entre as frações. Sendo parte de matéria orgânica facilmente decomponível para mineralização dos nutrientes e outra parte mais resistente no solo para melhoria e, ou manutenção das propriedades físicas do solo.

Este procedimento tem sido adotado em diversos estudos. Rangel et al. (2008) avaliaram o grau de oxidação do carbono orgânico de um Latossolo Vermelho distroférico cultivado com cafeeiro, em diferentes espaçamentos de plantio e pontos de coleta das amostras. A maior proporção de carbono esteve associada às frações F1 e F2 em todos os espaçamentos de plantio e pontos de coleta das amostras de solo, indicando uma maior predominância de matéria orgânica biodisponível no solo sob cultivo de cafeeiro. Nesse mesmo estudo foram encontradas maiores proporções de C nas frações F3 e F4 na área da mata, o que, segundo eles, evidencia o acúmulo nesse local de compostos orgânicos de maior estabilidade química e alto peso molecular, oriundos da decomposição e humificação da MOS.

Estudando o sistema agrossilvipastoril (SASP) em diferentes estágios de desenvolvimento e seu efeito sobre as alterações no carbono do solo e da sua labilidade, Wendling et al. (2008) encontraram que a fração F1 mostrou-se ser mais sensível na camada superior com redução de 73% no SASP com 2 anos em relação ao Cerrado. Porém, houve um acréscimo dessa fração de 44% em relação ao Cerrado no sistema com 10 anos, mostrando a capacidade desse sistema de auto-recuperação. As frações F2 e F3 também foram afetadas por esse sistema por sofrer uma redução dos teores de

COT. O carbono da F4 não foi afetado nas profundidades e tratamentos, o que significa que esta fração não é afetada pelo manejo do solo.

Além do procedimento utilizado por Chan et al. (2001), outras técnicas tem sido usadas com o objetivo de detectar diferenças no carbono lábil do solo entre sistemas de manejo. Procedimentos colorimétricos baseados na oxidação do carbono com permanganato de potássio ( $\text{KMnO}_4$ ) têm sido utilizados para diferenciar a labilidade do carbono (Blair et al., 1995). Estes autores consideram lábil o carbono oxidável por uma solução de  $\text{KMnO}_4$   $0,333 \text{ mol L}^{-1}$ .

Entretanto, Shang & Tiessen (1997) propuseram a concentração de  $0,033 \text{ mol L}^{-1}$  para oxidar carbono lábil (CL) em Latossolos. Estes autores indicam que o emprego de um oxidante mais diluído que o utilizado por Blair et al. (1995) se deve ao fato de a MOS ser relativamente mais lábil nestes solos do que em solos de regiões temperadas, para os quais o método foi desenvolvido. Dessa forma, o método de oxidação pode requerer ajustes conforme diferença de clima e de tipos de solos, o que, no entanto, dificulta a comparação dos resultados, pois é evidente que na concentração utilizada por Blair et al. (1995) oxidam-se formas de C não oxidadas pela proposta por Shang & Tiessen (1997).

Aplicando esse método proposto por Shang & Tiessen (1997), Wendling et al. (2008) estudando o sistema agrossilvipastoril (SASP) em diferentes estágios de desenvolvimento e seu efeito sobre as alterações no carbono do solo e da sua labilidade, encontrou que no ano que se implantou o sistema o carbono lábil foi 49,3 % inferior ao Cerrado. No entanto, após 10 anos de sistema estabelecido o valor do carbono lábil aumentou, demonstrando a capacidade de auto-recuperação do SASP. Segundo esses autores essa auto-recuperação se deve ao fato do solo não ser revolvido associado ao grande aporte de resíduos provenientes da braquiária ou até mesmo folhas, galhos e raízes de eucalipto. Esses autores demonstraram que os resultados obtidos por esse método foram semelhantes aos obtidos com a F1.

### **3. HIPÓTESES E OBJETIVO**

#### **3.1. Hipóteses**

- Os sistemas de manejo do solo aliados a plantas de cobertura e doses de fósforo propiciando diferentes aportes de resíduos afetam os teores e a labilidade do carbono orgânico do solo;
- Existe correlação entre o carbono orgânico total e os teores de carbono nas frações facilmente oxidáveis, não-humificadas, particuladas e na biomassa microbiana do solo, bem como a correlação entre elas.

#### **3.2. Objetivos**

##### ***3.2.1. Objetivo Geral***

Avaliar a influência de sistema de manejo do solo e adubação fosfatada com a sucessão soja-milho nos teores de carbono de frações lábeis e humificadas da matéria orgânica do solo e na atividade enzimática relacionada ao ciclo do carbono.

##### ***3.2.2. Objetivos específicos***

- Avaliar o efeito do sistema de preparo convencional tendo como planta de cobertura o milheto (SPCml), sistema de plantio direto tendo como planta de cobertura o milheto (SPDml) e sistema de plantio direto com mucuna (SPDmc) nas frações lábeis e humificadas do carbono orgânico do solo;
- Verificar o efeito da adubação fosfatada nas frações lábeis e humificadas do carbono orgânico do solo;
- Avaliar as relações entre os teores de carbono presentes em frações lábeis obtidas por diferentes procedimentos de fracionamento.
- Avaliar a relação das frações lábeis do carbono orgânico com a atividade enzimática do solo.

#### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMOLI, J.; MACEDO, J.; AZEVEDO, L.G.; NETTO, J.M. Caracterização da região dos Cerrados. In: GOEDERT, W.J. (Ed.). **Solos do Cerrado: tecnologias e estratégias de manejo**. Planaltina-DF: Embrapa-CPAC; Sao Paulo: Nobel, p. 33-74, 1986.

AJWA, H.A.; DELL, C.J.; RICE, C.W. Changes in enzyme activities and microbial biomass of tallgrass prairie soil as related to burning and nitrogen fertilization. **Soil Biology and Biochemistry**, Exeter, 31:769-777, 1999.

ALVAREZ, R.; DOAZ, R.A.; BARBERI, N.; SANTANATOGLIA, O.J.; BALOTA, L. Soil organic carbon, microbial biomass and CO<sub>2</sub>-C production from tree tillage systems. **Soil & Tillage Research**, 33:17-28, 1995.

ANDERSON, J.M., INGRAN, J.S.I. **Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods**. CAB International, Wallingford, Estados Unidos, 1989, 171 p.

AON, M.A.; CABELLO, M.N.; SARENA, D.E.; COLANERI, A.C.; FRANCO, M.G.; BURGOS, J.L.; CORTASSA, S. I. Spatio-temporal patterns of soil microbial and enzymatic activities in agricultural soil. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, 8:239-254, 2001.

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**, 41:1541-1550, 2006.

BALDOCK, J.A. & NELSON, P.N. Soil organic matter. In: SUMNER, M.E. (Ed.). **Handbook of soil science**. Boca Raton: CRC Press, 2000. p. 25-84.

BALOTA, E.L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D.S.; DICK, R.P. Microbial biomass in soils under different tillage and crop rotation systems. **Biology and Fertility of Soils**, 38:15-20, 2003.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 39:677-683, 2004.

BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. 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**. 2ª Ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 1-5.

BLAIR, G.J.; LEFROY, R.D.B.; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian Journal of Agricultural Research**, 46:1459-1466, 1995.

BRAUNACK, M.V. & DEXTER, A.R. Soil aggregation in the seedbed: a review. Properties of aggregates and beds of aggregates. **Soil & Tillage Research**, 14:259-279, 1989.

CAMBARDELLA, C.A. & ELLIOTT, E.T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, 56:777-783, 1992.

CAMPOS, B.H. C.; AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; NICOLOSO, R.S.; FIORIN, J.E. Carbon stock and its compartments in a subtropical oxisol under long-term tillage and crop rotation systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35:805-817, 2011.

CANELLAS, L.P.; BERNER, P.G.; SILVA, S.G. da; SILVA, M.B.; SANTOS, G.A. Frações da matéria orgânica em seis solos de uma topossequencia no Estado do Rio de Janeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 35:133-143, 2000.

CANELLAS, L.P.; SANTOS, G.A.; RUMJANEK, A.A.M.; GURIDI, F. Distribuição da matéria orgânica e características de ácidos húmicos em solos com adição de resíduos de origem urbana. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 36:1529-1538, 2001.

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**, 33:147-157, 2009.

CARTER, M.R. Organic matter and sustainability. In: REES, R.M., BALL, B.C., CAMPBELL, C.D., WATSON, C.A. (Ed.). **Sustainable management of soil organic matter**. New York : CABI, p. 9-22, 2001.

CENCIANI, K.; FREITAS, S.S.; CRITTER, S.A.M.; AIROLDI, C. Microbial enzymatic activity and thermal effect in a tropical soil treated with organic materials. **Scientia Agricola**, 65:674-680, 2008.

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**, 166:61-67, 2001.

CHRISTENSEN, B.T. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. **Advances in Soil Sciences**, 20:1-90, 1992.

CHRISTENSEN, B.T. Structure and organic matter storage in agricultural soils. In: CARTER, M.R.; STEWART, B.A. (Ed.). **Structure and organic matter storage in agricultural soils**. Boca Raton: CRC, 1996. p.97-165.

CONCEIÇÃO, P.C. Agregação e proteção física da matéria orgânica em dois solos do sul do Brasil. 2006. 113f. Tese (**Doutorado**), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

CONCEIÇÃO, P.C.; BOENI, M.; DIECKOW, J.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Fracionamento densimétrico com politungstato de sódio no estudo da proteção física da matéria orgânica do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:541-549, 2008.

CRUZ, J. C. S.; ROCHA, M. M.; SOUZA, N. L.; PADOVANI, C. R.; MINHONI, M. T. A. Aspectos microbiológicos de solo e a técnica de solarização. **Summa Phytopathologica**, Botucatu. 31:74-81, 2006.

COUTINHO, F.S.; LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; JUNIOR, D.J.R.; TORRES, J.L.R. Estabilidade de agregados e distribuição do carbono em Latossolo sob sistema plantio direto em Uberaba, Minas Gerais. **Comunicata Scientiae** 1:100-105, 2010.

CUNHA, T.J.F.; MACEDO, J.R.; RIBEIRO, L.P.; PALMIERI, F.; FREITAS, P.L.F.; AGUIAR, A.C. Impacto do manejo convencional sobre propriedades físicas e substâncias húmicas de solos sob cerrado. **Ciência Rural**, 1:27-36, 2001.

CUNHA, T.J.F.; MOUTTA, R.O.; BENITES, V. M.; CANELLAS, L.P.; MADARI, B.; SANTOS, G.A. **Algumas características da matéria orgânica de solos antropogênicos na Amazônia Brasileira**. In: V Encontro Brasileiro de Substâncias Húmicas, Curitiba-PR, 2003 (138 - 140) Grupo Brasileiro da IHSS.

D'ANDREA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; SIQUEIRA, J.O.; CARNEIRO, M.A.C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:913-923, 2002.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J.G.M. Carbono, nitrogênio e fósforo da biomassa microbiana do solo. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 263-276.

DICK, D.P.; GOMES, J.; BAYER, C.; BODMANN, B. Adsorção de ácidos húmicos em Latossolo Roxo natural e tratado com oxalato de amônio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24:285-294, 2000.

DICK, D.P.; MARTINAZZO, R. Matéria orgânica em ambientes terrestres e aquáticos: composição, reações e técnicas de caracterização. In: POLETO, C.; MERTEN, G. (Org.). **Qualidade de Sedimentos**. Porto Alegre: 2006, v.1, p.65-80.

DICK, D.P.; MARTINAZZO, R.; DALMOLIN, R.S.D.; JACQUES, A.V.A.; MIELNICZUK, J.; ROSA, A.S. Impacto da queima nos atributos químicos do solo, na

composição da matéria orgânica e na vegetação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 43: 633-640, 2008.

DICK, D.P.; NOVOTNY, E.H.; DIECKOW, J.; BAYER, C. Química da matéria orgânica do solo. In: MELO, V.F.; ALLEONI, L.R.F. (Eds.). **Química e mineralogia do solo**. 1. ed. Viçosa: SBCS, 2009. p. 1-67.

DIEKOW, J. Estoque e qualidade da matéria orgânica do solo em função de sistemas de cultura e adubação nitrogenada no sistema plantio direto. 2003. 154 p. Tese (**Doutorado**), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

DUXBURY, J.M.; SMITH, M.S.; DORAN, J.W. Soil organic matter as a source and sink of plant nutrients. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G. (Ed.). **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu: University of Hawaii Press, 1989. p. 33-69.

FIGUEIREDO, C.C.; RESCK, D.V.; CARNEIRO, M.A. Labile and stable fractions of soil organic matter under management systems and native cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34:907-916, 2010.

FIGUEIREDO, C.C.; RESCK, D.V.; CARNEIRO, M.A.; RAMOS, M.L. G.; SÁ, J.C. M. Stratification ratio of organic matter pools influenced by management systems in a weathered Oxisol from a tropical agro-ecoregion in Brazil. **Soil Research**, 51:133-141, 2013.

FONTANA, A.; PEREIRA, M.G.; SALTON, J.C.; LOSS, A.; CUNHA, T.J.F. Fósforo remanescente e correlação com as substâncias húmicas em um Latossolo Vermelho sob diferentes sucessões de cultura em plantio direto. **Revista Brasileira de Agrociência**, 14:1-6, 2008.

FONTANA, A.; SILVA, C.F.S.; PEREIRA, M.G.; LOSS, A.; BRITO, J.R.; BENITES, V.M. Avaliação dos compartimentos da matéria orgânica em área da mata atlântica. **Acta Scintiarum. Agronomy**, 33:545-550, 2011.



FONTES, M.R.; WEED, S.B.; BOWEN, L.H. Association of microcrystalline goethite and humic acid in some Oxisols from Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, 56:982-990, 1992.

FREITAS, P.L.; BLANCANEUX, P.; GAVINELLI, E.; LARRE-LARROU, M.C.; FELLER, C. Nível e natureza do estoque orgânico de latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 35:157-170, 2000.

GUERRA, J.G. & SANTOS, G.A. Métodos químicos e físicos. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre, Gênese, 1999. p.267-292.

GOLCHIN, A.; OADES, J.M.; SKJEMSTAD, J.O.; CLARKE, P. Soil-structure and carbon cycling. **Australian Journal Soil Research**, 32:1043-1068, 1994.

JANZEN, H.H.; CAMPBELL, C.A.; BRANDT, S.A.; LAFOND, G.P.; TOWNLEYSMITH, L. Light-fraction organic matter in soils from long-term crop rotations. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, 56:1799-1806, 1992.

JENKINSON, D.S. & POWLSON, D.S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil-I. Fumigation with chloroform. **Soil Biology and Biochemistry**, 8:167-177, 1976.

JERKE, C.; SOUSA, D.M.G.; GOEDERT, W.J. Distribuição do carbono orgânico em Latossolo sob manejo de adubação fosfatada em plantio direto no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 47:442-448, 2012.

KONONOVA, M.M. *Materia orgânica del suelo: Su naturaliza propiedades y métodos de investigación*, 1edição, Barcelona: Oikos-tau, 1982. 364 p.

LAL, R. **Savannas and global climate change source or sink of atmospheric CO<sub>2</sub>**. In: FALEIRO, F.G.; FARIAS NETO, A.L. (Eds.). *Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais*. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008. p. 81-102.

LIMA, A.M.N.; SILVA, I.R.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; MENDONÇA, E.S.; DEMOLINARI, M.S.M.; LEITE, F.P. Frações da matéria orgânica do solo após três décadas de cultivo de eucalipto no Vale do Rio Doce, MGS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:1053-1063, 2008.

LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L.H.C. dos; SILVA, E.M.R. Atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo em sistema integrado de produção agroecológica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 44:68-75, 2009a.

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

LOSS, A.; PEREIRA, G.M.; SCHULTZ, N.; dos ANJOS, L.H.C.; SILVA, E.M.R. Quantificação do carbono das substâncias húmicas em diferentes sistemas de uso do solo e épocas de avaliação. **Bragantia**, 69: 913-922, 2010.

LÜTZOW, M.; KÖGEL-KNABNER, I.; EKSCHMITT, K.; FLESSA, H.; GUGGENBERGER, G.; MATZNER, E. & MARSCHNER, B. SOM fractionation methods: Relevance to functional pools and to stabilization mechanisms. **Soil Biology Biochemistry**, 39:2183-2207, 2007.

MAKOI, J.H.J.R.; NDAKIDEMI, P.A. Selected soil enzymes: Examples of their potential roles in the ecosystem. **African Journal of Biotechnology**, 7:181-191, 2008.

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

MARCHIORI JUNIOR, M. & MELO, W.J. Carbono da biomassa microbiana, e atividade enzimática em um solo sob mata natural, pastagem e cultura do algodoeiro **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23:257-263, 1999.

MARTINS, E.L.; CORINGA, J.E.S.; WEBER, O.L.S. Carbono orgânico das frações granulométricas e substâncias húmicas de um latossolo vermelho amarelo distrófico-LVAd sob diferentes agrossistemas. **Acta Amazônica**, 39:656-660, 2009.

MATIAS, M.C.B.S; SALVIANO, A.A.C; LEITE, F.D; ARAUJO, S.F. Biomassa microbiana e estoques de C e N do solo em diferentes sistemas de manejo, no Cerrado do Estado do Piauí. **Acta Scientiarum. Agronomy**, 31:517-521, 2009.

MATOS, E.S., MENDONÇA, E.S., LEITE, L.F.C., GALVÃO, J.C.C. Estabilidade de agregados e distribuição de carbono e nutrientes em Argissolo sob adubação orgânica e mineral. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 43:1221-1230, 2008.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. (Eds.). **Fundamentos de matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, cap.2, 2008. p.1-6.

NUNES, R.S.; LOPES, A.A.C.; SOUSA, D.M.G.; MENDES, I.C. Sistemas de manejo e os estoques de carbono e nitrogênio em latossolo de cerrado com a sucessão soja-milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35:1407-1419, 2011.

PASSOS, R.R.; RUIZ, H.A.; MENDONÇA, E.S.; CANTARUTTI, R.B.; SOUZA, A.P. Substâncias húmicas, atividade microbiana e carbono lábil em agregados de um latossolo vermelho distrófico sob duas coberturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31:1119-11129, 2007.

PEREIRA, M.G.; LOSS, A.; BEUTLER, S.L.; TORRES, J.L.R. Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 45:508-514, 2010.

PEREZ, K.S.S; RAMOS, M.L.G.; MCMANUS, C.; Carbono da biomassa microbiana em solo cultivado com soja sob diferentes sistemas de manejo nos Cerrados. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, 39:567-573, 2004.

PILLON, C.N., MIELNICZUK, J.; LADISLAU, M.N. (2002) **Métodos de fracionamento e caracterização da matéria orgânica do solo**. Embrapa clima temperado. Documentos 106.

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

REIS JUNIOR, F.B. & MENDES, I.C. **Biomassa microbiana do solo**. Planaltina-DF: Embrapa Cerrados, 2007. 40p.

ROSCOE, R. & MACHADO, P.L.O.A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2002. 86 p.

ROSCOE, R. & BUURMAN, P. Tillage effects on soil organic matter dynamics in density fractions of a Cerrado Oxisol. **Soil and Tillage Research**, 70: 07-119, 2003.

ROSCOE, R.; BODDEY, R.M.; SALTON, J.C. Sistemas de manejo e matéria orgânica do solo. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F.M.; SALTON, J.C. (Ed.). **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 304p, 2006.

ROTH, C.H.; WILCZYNSKI, W.; CASTRO FILHO, C.C. Effect of tillage and liming on organic matter composition in a Rhodic Ferralsol from southern. **Zeitschrift fuer Pflanzenernaehrung und Bodenkunde**, 155:175-179, 1992.

ROSSI, C.Q.; PEREIRA, M.G.; GIÁCOMO, S.G.; BETTA, M.; POLIDOR, J.C. Frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. **Revista Ciência Agronômica**, 43:38-46, 2012.

SANO, E.E.; ROSA, R.; BRITO, J.L.S.; FERREIRA, L.G.; BEZERRA, H.S. Mapeamento da Cobertura vegetal natural e antropica do bioma Cerrado por meio de imagens Landsat ETM. In: **XIV Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 2009, p. 1199-1206.

SANTOS, H.P. & TOMM, G.O. Disponibilidade de nutrientes e teor de matéria orgânica em função de sistemas de cultivo e de manejo de solo. **Ciência Rural**, 33: 477-486, 2003.

SANTOS, D.C.; LIMA, C.L.R.; KUNDE, R.J.; CARVALHO, J.S.; ABEIJON, L.M.; PILLON, C.N. Agregação e proteção física da matéria orgânica em Planossolo háplico sob diferentes sistemas de manejo. **Bioscience Journal**, 28:54-63, 2012.

SEGNINI, A. Estrutura e estabilidade da matéria orgânica em áreas com potencial de seqüestro de carbono no solo. 2007. 131f. Tese (**Doutorado**) - Universidade de São Paulo – Instituto de Química de São Carlos, São Paulo.

SHANG, C. & TIESSEN, H. Organic matter lability in a tropical Oxisol: evidence from shifting cultivation, chemical oxidation, particle size, density, and magnetic fractionations. **Soil Science**, 162:795-807, 1997.

SILVA, I.R. & MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.p.374-470.

SILVA, E.E.; DE-POLLI, H.; LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; RIBEIRO, R.L.D.; GUERRA, J.G.M. Matéria orgânica e fertilidade do solo em cultivos consorciados de couve com leguminosas anuais. **Revista Ceres**, 56:93-102, 2009.

SILVA, R.R.; SILVA, M.L.N.; CARDOSO, E.L.; MOREIRA, F.M.S.; CURI, N.; ALOVISI, A.M.T. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica campos das vertentes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34:1585-1592, 2010.

SILVA, E.F.; LOURENTE, E.P.R.; MARCHENTTI, M.E.; MERCANTE, F.M.; FERREIRA, A.K.T.; FUJII, G.C. Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica do solo sob integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 46:1321-1331, 2011.

SINGH, J.S.; RAGHUBANSHI, A.S.; SINGH, R.S.; SRIVASTAVA, S.C. Microbial biomass acts as source of plant nutrients in dry tropical forest and savanna. **Nature**, 338:499-500, 1989.

SOHI, S., MAHIEU, N., ARAH, J.R.M., POLWSON, D.S.P., MADARI, B., GAUNT, J.L. A procedure for isolating soil organic matter fractions suitable for modeling. **Soil Science Society of America Journal**, 65:1121-1128, 2001.

SOUSA, D.M.G.; & LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: Correção do solo e adubação**. 2. Ed. Planaltina, DF. Embrapa Cerrados, 2004. 416p.

SOUSA, D.M.G.; REIN, T.A.; GOEDERT, W.J.; LOBATO, E.; NUNES, R.S. Fósforo. In: PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V.; STIPP, S.R., eds. **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: Nutrientes**. Piracicaba, IPNI, 2010. 2:67- 132.

TABATABAI, M.A. Soil enzymes. In: Weaver, R.W.; Angle, S.; Bottomley, P.S.; Bezdicek, D.; Smith, S.; Tabatabai, A.; Wollum, A. (ed.) **Methods of Soil Analysis**. Part 2: Microbiological and Biochemical Properties. Inc. Madison: Soil Science Society of America. 1994. p. 778-833.

TABATABAI, M.A. Soil organic matter testing: an overview. In: MAGDOFF, F.R., TABATABAI, M.A., HANLON, Jr. (Ed.). **Soil organic matter: Analysis and Interpretation**. Madison, WI, 51p. 1996.

THENG, B.K.G. Clay-humic interactions and soil aggregate stability. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G. (Eds), **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu, University of Hawaii, Niftal project, p. 5-32, 1987.

TISDALL, J.M. & OADES, L.M. Organic matter and water-stable aggregates in soil. **Journal of Soil Science**. 33:141-163, 1982.

TOMASI, C.A. Atributos químicos e matéria orgânica em Latossolo Vermelho de altitude sob usos e manejos distintos. 2011. 79 p. Dissertação (**Mestrado**), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

VARGAS, L.K.; SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO<sub>2</sub> e N mineral de um solo Podzólico Vermelho-Escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24:35-42, 2000.

VENZKE FILHO, S.P.; FEIGL, B.J.; PICCOLO, M.C.; SIQUEIRA NETO, M.; CERRI, C.C. Biomassa microbiana do solo em sistema de plantio direto na região de Campos Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:599-610,2008.

WALKLEY, A.; BLACK, J.A. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic titration method. **Soil Science**, 37:29-38, 1934.

WENDLING, B.; JUNCKSCH, I.; MENDONÇA, E.S.; NEVES, I. C. L.; SILVA, I. R.; COSTA, L. M. Organic-Mater Lability and Carbon-Management Indexes in Agrosylvopasture System on Brazilian Savannah. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 39:1750-1772, 2008.

ZINN, Y.L.; LAL, R.; RESCK, D.V.S. Texture and organic carbon relation described by a profile pedotransfer function in Brazilian Cerrado soils. **Geoderma**, Amsterdam, 127:168-173, 2005.

## **CAPÍTULO ÚNICO**



## 1. INTRODUÇÃO

A constituição da matéria orgânica do solo (MOS) é bastante complexa, pois possui um conjunto heterogêneo de frações com variado tempo de residência no solo (Haynes, 2005). Essa variação vai de semanas, como a biomassa microbiana, até milhares de anos como a fração humina. Portanto, entendê-la como um todo ainda é um processo extremamente difícil a ser realizado. Com isso, técnicas de fracionamento químico e físico da MOS têm sido desenvolvidas para estudá-la por meio de suas frações, além de avaliar os efeitos causados por sistemas de manejo e culturas sobre essas frações. Estas técnicas, normalmente, propiciam a separação de frações lábeis e recalcitrantes do carbono orgânico (Blair et al., Cambardella & Elliot, 1992; 1995; Chan et al., 2001). Isso permite obter informações sobre estabilidade e localização das diferentes frações da MOS na estrutura do solo, bem como sua qualidade e quantidade.

A fração lábil da MOS é mais propensa ao ataque microbiano, devido a sua localização e sua composição química como por exemplo a celulose (Diekow, 2003). Devido a isso, apresenta alta taxa de decomposição e um curto período de permanência no solo, sendo então a fração da MOS que fornece nutrientes às plantas pela mineralização, além de energia e C aos microrganismos do solo (Silva & Mendonça, 2007). Contudo, o C da fração lábil é mais sensível em indicar incrementos da MOS por meio do cultivo, do que quando comparado somente com o estoque de COT (Silva et al., 2011), além de ser mais sensível às alterações provocadas por práticas agrícolas.

Já as frações mais estáveis, como as substâncias húmicas, são o conjunto complexo de produtos recalcitrantes resultantes de transformações químicas e microbianas da MOS. A elevada estabilidade das substâncias húmicas é atribuída à sua estrutura química complexa e às suas interações com minerais de argila e com cátions metálicos (Theng et al., 1989), que se expressa na formação dos agregados.

Diversos trabalhos demonstram o comportamento de frações lábeis da MOS, em diferentes sistemas de preparo ou em matas nativas. Porém, esses estudos geralmente analisam apenas um tipo de fração lábil, não apresentando as relações entre frações lábeis obtidas por diferentes procedimentos, o que dificulta a comparação de resultados obtidos por diferentes estudos.

Experimentos de longo prazo em solos do Cerrado, com sistemas de manejo convencionais e conservacionistas, arranjos culturais e adubação propiciando diferentes aportes de resíduos orgânicos, ainda são escassos, como também trabalhos que

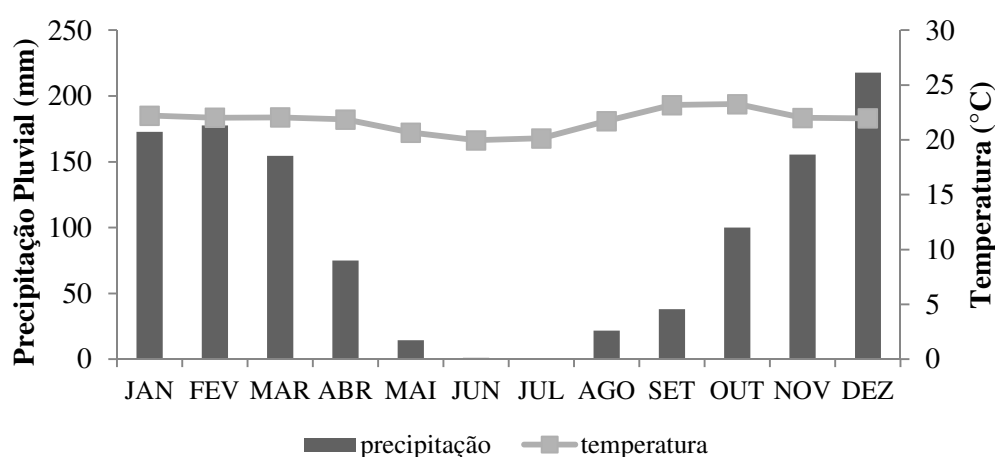
relacionem as frações lábeis e humificadas do carbono orgânico obtidas por diferentes técnicas.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do manejo do solo baseado em sistemas de preparo, plantas de cobertura e adubação fosfatada nos teores de carbono orgânico total, e nas frações lábeis e humificadas, bem como na atividade enzimática, em um Latossolo Vermelho argiloso, cultivado por onze anos com a sucessão soja-milho.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Descrição da Área Experimental

O estudo foi desenvolvido numa área experimental da Embrapa Cerrados, em Planaltina, DF (latitude de 15° 36' S, longitude de 47° 42' W e altitude de 1.014 m). O clima é do tipo Cwa segundo a classificação de Köppen com temperatura e precipitação média anual de 21,3 °C e 1.570 mm, respectivamente. Os dados de precipitação e temperatura média mensal, durante o período do estudo, são apresentados na figura 1.



**Figura 1:** Variação média mensal de precipitação pluvial e temperatura na área experimental da Embrapa Cerrados, em Planaltina, DF, durante o período de 1999 a 2010, em estação localizada no Latossolo Vermelho argiloso.

O experimento foi estabelecido em um Latossolo Vermelho distrófico, com relevo caracterizado como suave ondulado, 3% de declividade, e teor médio de argila, silte e areia de 571, 72 e 357 g kg<sup>-1</sup> respectivamente. A vegetação natural é o Cerradão.

A área foi desmatada em 1976, sendo utilizada para pastagem e produção de grãos por 20 anos. Em 1996 a área foi novamente preparada e realizada a correção da acidez e da fertilidade do solo, visando alto rendimento de grãos, conforme Sousa & Lobato (2004). Nesse mesmo ano agrícola e no seguinte (1997/98) a área foi cultivada com soja com aplicação de 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no sulco de plantio, 80 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de cloreto de potássio e 30 kg ha<sup>-1</sup> de S na forma de gesso aplicados a lanço. Em 1998/99, foi cultivado milho com a mesma adubação de K e S e adição de 150 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de uréia, sem adubação fosfatada. A finalidade desses três cultivos foi conhecer a

variabilidade da área para a escolha do delineamento experimental e obter uma condição de alta fertilidade para o estudo de manejo de P nessa condição.

O experimento teve início na safra de 1999/2000, com as condições químicas do solo adequadas (Tabela 1), utilizando-se uma sucessão soja-milho com plantas de cobertura de inverno, semeadas no final da estação chuvosa e roçadas no momento do florescimento. As adubações com N, K e S foram mantidas iguais às dos três anos anteriores e os tratamentos de P foram estabelecidos. Nos anos de 2008 e 2009 as plantas de cobertura receberam adubação de 45 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de uréia visando maior produção de biomassa vegetal.

**Tabela 1:** Análise química do solo na camada de 0-20 cm antes da implantação do experimento.

pH	Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Al + H	CTC	V	P	COT
	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----				%	mg dm <sup>-3</sup>	g kg <sup>-1</sup>
5,40	4,54	0,15	3,66	8,35	56	10,50	13,34

Extratores: Ca + Mg (KCl 1N); P e K (Melich 1); Al + H (Acetato de cálcio 1N); COT (Walkley & Black).

Devido ao fenômeno comum na região chamado “veranico” os cultivos de soja e milho receberam irrigação suplementar por aspersão em situações de seca durante a estação chuvosa. A irrigação era definida com base em tensiômetros instalados nas parcelas a 20 cm de profundidade quando estes apresentavam leitura maior que 45 kPa. As plantas de cobertura também receberam irrigação no inverno, sem limitação de água. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com parcelas divididas. Nas parcelas foram distribuídos aleatoriamente três sistemas de manejo e nas subparcelas as doses de P.

## 2.2. Sistemas de Manejo Estudados

O experimento consiste de três sistemas de manejo: sistema de preparo convencional, constituído de uma aração (arado de discos, com profundidade de ± 20 cm) e uma gradagem (grade niveladora), realizadas antes do plantio, tendo o milheto (*Pennisetum glaucum*) como planta de cobertura (SPCml); sistema de plantio direto com milheto de cobertura (SPDml) e sistema de plantio direto com mucuna-preta (*Mucuna aterrima*) de cobertura (SPDmc). Foram utilizados os tratamentos sem

adubação fosfatada (P0) e com adubação de 100 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de superfosfato triplo granulado aplicado no sulco semeadura (P1).

### 2.3. Amostragem do Solo

As amostras de solo foram coletadas em março de 2010 (11º cultivo da área), por ocasião de enchimento de grão da soja, nas profundidades de 0-5; 5-10 e 10-20 cm, com o auxílio de um trado de 5 cm de diâmetro, sendo uma amostra composta por parcela do experimento e cada amostra formada por 20 sub-amostras (quatro locais dentro de cada parcela x cinco sub-amostras por local – uma na linha e quatro nas entrelinhas equidistantes). O solo foi homogeneizado e separado em duas porções, uma para realização de análises químicas, sendo esta seca ao ar e passada em peneira de 2 mm ou de 0,5 mm e outra para análise microbiológica, que foi passada em peneira de 4 mm e armazenada a uma temperatura de 7° C até o momento das análises.

Numa área sob vegetação nativa cerradão, próxima ao experimento, sem histórico de intervenção humana, foram coletadas amostras de solo nas mesmas profundidades coletadas na área experimental, que foram utilizadas como referência de mata nativa para avaliar os impactos causados pelos sistemas de manejo do solo. As amostras de solo foram coletadas em 20 pontos aleatórios em dois lugares diferentes, ou seja duas repetições.

### 2.4. Rendimento médio das culturas e quantidade de carbono adicionado

Na tabela 2 são apresentados o rendimento médio das culturas de soja e milho e a estimativa de adição de C no solo das plantas de cobertura.

**Tabela 2:** Rendimento médio das culturas de soja e milho e estimativa da adição total de carbono por essas culturas e das plantas de cobertura milheto ou mucuna, em um Latossolo Vermelho argiloso durante 10 anos de cultivo na sucessão soja-milho, sob três sistemas de manejo e duas doses de fósforo.

Sistema de manejo	Dose de fósforo	Rendimento de grãos – valor médio de 5 anos de cada cultura		Adição de carbono em 10 anos	
		Soja	Milho	Culturas de soja e milho	Planta de cobertura milheto ou mucuna
----- Mg ha <sup>-1</sup> -----					
SPC milheto	P 0	1,85	6,16	20,83	12,41
SPD milheto	P 0	2,10	6,72	22,95	14,70
SPD mucuna	P 0	2,00	6,80	22,87	10,86
SPC milheto	P 1	3,57	11,48	39,13	37,91
SPD milheto	P 1	3,51	11,25	38,37	36,24
SPD mucuna	P 1	3,61	10,95	37,86	17,54

SPC: sistema de preparo convencional, SPD: sistema plantio direto. P0: 0 e P1: 100 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de superfosfato triplo aplicado no sulco de semeadura.

## **2.5. Análises Laboratoriais**

Na porção de solo destinada à análise química realizaram-se a determinação do COT e fracionamento químico e físico da matéria orgânica do solo.

### ***2.5.1. Determinação do Carbono Orgânico Total***

O COT foi determinado pela oxidação via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico, seguido da titulação com sulfato ferroso amoniacal sem aquecimento e sem fator de correção (Walkley & Black, 1934). Quinhentos miligramas de amostra de solo passado em peneira de malha 0,5mm foram pesados e colocados em erlenmeyer de 500 ml. Foram adicionados 10 ml de dicromato de potássio (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) 0,167 mol L<sup>-1</sup> e 20 ml de ácido sulfúrico H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado, agitando bem para garantir a mistura do solo com os reagentes. Após o repouso de 30 minutos adicionaram-se 200 ml de água destilada, 10 ml de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> concentrado e 1 ml de difenilamina 0,16%. A titulação foi feita com sulfato ferroso amoniacal [(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> Fe(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O] 1 mol L<sup>-1</sup>, também chamado de Sal de Mohr. O cálculo do COT foi feito segundo Jackson (1970), como componente da matéria orgânica facilmente oxidável.

### ***2.5.2. Fracionamento Físico Granulométrico***

O fracionamento físico granulométrico foi realizado segundo Cambardella & Elliot (1992). Vinte gramas de terra fina seca ao ar (TFSA) passada na peneira de 2 mm foram colocados em frascos do tipo *snap-cap* de 250 mL, em seguida adicionados 80 mL de solução de hexametáfosfato de sódio (5 g L<sup>-1</sup>), agitado por 16 h em agitador horizontal a 150 batidas por minuto. Após a agitação, o material foi passado em peneira de 53µm, com auxílio de jatos de água e o material retido na peneira foi seco em estufa a 50 °C até atingir peso constante e em seguida moído em gral de porcelana até passar em peneira de 0,149 mm, para avaliação do teor de C orgânico total da fração particulada (COP). O C foi determinado por combustão seca em analisador Perkin Elmer Series II CHNS/O 2400.

### ***2.5.3. Fracionamento Químico de Substâncias Húmicas***

Para o fracionamento químico da MOS, utilizou-se a técnica de solubilidade diferencial (Swift, 1996), com adaptações realizadas por Schiavo et al. (2009). Primeiramente foram obtidos a matéria orgânica leve (MOL) e os ácidos fúlvicos livres

(AFL) depois da aplicação de ácido fosfórico. Após a separação dessas duas frações, a amostra foi fracionada para a obtenção das frações ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) e humina (HU).

Para a separação das frações húmicas e da MOL colocaram-se 2 gramas TFSA passados em peneira com malha de 0,5 mm em tubos de centrifuga de 50 mL e adicionaram-se 40 mL de ácido fosfórico  $2 \text{ mol L}^{-1}$ . O material foi agitado por 10 minutos a 80 rpm e posteriormente foi centrifugado por 20 minutos a 4000 g. Após isso filtrou-se o sobrenadante com filtro de poros correspondente a  $14 \mu\text{m}$ . O material retido no filtro foi considerado a MOL e do extrato filtrado foi determinada a fração AFL. A partir dos valores encontrados de MOL, foi calculado o conteúdo total de C nessa fração. O valor de C na MOL (CMOL) foi obtido pela multiplicação dos teores de MOL por 0,58, considerando que, em média, 58% da MOS é C.

O solo retido no tubo de centrífuga foi submetido a extrações das frações AF, AH e HU, para isso, adicionaram-se 20 mL de NaOH  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ . O material foi agitado por 4 horas a 80 rpm e permaneceu em repouso por 12 horas. Posteriormente foi centrifugado a 4.000 g por 30 min, recolhido o sobrenadante que foi reservado em recipiente separado. Adicionaram-se novamente 20 mL de NaOH ao material retido nos mesmos tubos de centrífuga. Em seguida agitou-se por 2,5 horas a 80 rpm e centrifugou-se a 4000 g por 30 minutos. O sobrenadante foi adicionado ao que estava reservado, formando assim um extrato alcalino no copo descartável contendo as frações AH e AF. Considerou-se a fração humina o precipitado retido nos tubos de centrífuga de 50 mL. Este precipitado foi cuidadosamente transferido para beakers de 50 mL, utilizando água destilada com mínimo de líquido possível ( $\pm 10 \text{ ml}$ ), aquecido em estufa a  $45 \text{ }^\circ\text{C}$  (até a secagem completa). O pH do extrato alcalino foi ajustado para 1,0-1,5, pela adição de gotas de solução de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  20%. Após o ajuste do pH o extrato foi centrifugado por 20 minutos a 4.000 g para separação dos ácidos húmicos e fúlvicos. O sobrenadante, correspondente aos ácidos fúlvicos, foi transferido para outro tubo de centrífuga e seu volume completado para 50 ml com água destilada. Ao precipitado que correspondeu ao AH adicionaram-se 30 mL de NaOH  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ , homogeneizou-se e completou-se o volume com água destilada para 50 mL.

A determinação dos teores de carbono nos extratos das frações AFL, AF, AH e H foi realizada por meio da oxidação do C com dicromato de potássio e titulação com sulfato ferroso amoniacal com aquecimento externo sob refluxo (Nelson & Sommers,

1996). Foram determinados também os teores de C não humificado através da diferença entre COT e C das substâncias húmicas.

Com a determinação dessas frações foi obtida a relação AH/AF, indicadora da qualidade da matéria orgânica.

#### ***2.5.4. Fracionamento Sequencial de Frações Oxidáveis do Carbono em Diferentes Concentrações de Ácido Sulfúrico***

O fracionamento do carbono foi feito conforme Chan et al. (2001), adaptado por Rangel et al. (2008). Esse fracionamento resultou em quatro frações com graus decrescentes de oxidação: Fração 1 (F1): C oxidado por  $K_2Cr_2O_7$  em meio ácido de 6 mol  $L^{-1}$  de  $H_2SO_4$ ; Fração 2 (F2): diferença do C oxidado por  $K_2Cr_2O_7$  em meio ácido com 9 e 6 mol  $L^{-1}$  de  $H_2SO_4$ ; Fração 3 (F3): diferença do C oxidado por  $K_2Cr_2O_7$  em meio ácido com 12 e 9 mol  $L^{-1}$  de  $H_2SO_4$ ; Fração (F4): diferença do carbono total (CT) e o carbono oxidado por  $K_2Cr_2O_7$  em meio ácido com 12 mol  $L^{-1}$  de  $H_2SO_4$ . As frações F1 e F2 foram consideradas as frações mais lábeis, já F3 e F4 as mais estáveis.

Para tanto, 0,5 g de TFSA passado em peneira de 0,5 mm foi colocado em erlenmeyer de 500 ml. Adicionou-se 10 ml de dicromato de potássio ( $K_2Cr_2O_7$ ) 0,167 mol  $L^{-1}$  e três volumes de ácido sulfúrico concentrado (5, 10 e 20 mL), correspondentes às concentrações de 6, 9 e 12 mol  $L^{-1}$ , respectivamente, para cada amostra, em seguida misturou-se e foram deixadas em repouso por 30 minutos. Após o repouso, foram adicionados 200 ml de água destilada, 10 ml de  $H_3PO_4$  concentrado e 1 ml de difenilamina 0,16%. A titulação foi feita com sulfato ferroso amoniacal [ $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ ] 1 mol  $L^{-1}$ , também chamado de Sal de Mohr.

Já o CT foi determinado por combustão seca em analisador Perkin Elmer Series II CHNS/O 2400.

#### ***2.5.5. Oxidação do Carbono por Permanganato de Potássio***

O procedimento foi realizado segundo Blair et al. (1995), adaptado por Shang & Tiessen (1997), onde o carbono lábil (CL) é considerado como o C oxidável pela solução de  $KMnO_4$  0,033 mol  $L^{-1}$ . Para tanto, 1 grama de TFSA passado na peneira com malha de 0,5 mm foi colocado em tubos de centrífuga de 50 mL enrolados com papel alumínio para evitar a fotoxidação do permanganato. Foram adicionados 25 mL da solução de  $KMnO_4$  0,033 mol  $L^{-1}$ , agitados por 1 hora, e em seguida centrifugados por 5 minutos. Após centrifugação, 1 mL do sobrenadante foi pipetado em balões



volumétricos de 250 mL, completando seu volume com água destilada. Após isso, foi feita a leitura em espectrofotômetro em comprimento de onda de 565 nm. Foi feita uma curva padrão para determinação do CL, a partir de uma solução contendo 0,00060 mol L<sup>-1</sup> de KMnO<sub>4</sub>. Para cada ponto da curva foram pipetadas em 5 balões de 100 mL quantidades correspondentes à: 13,3; 16,67; 18,67; 20,0; e 22,0 mL completando o volume com água destilada. A mudança na concentração de KMnO<sub>4</sub> foi usada para estimar a quantidade de carbono oxidado, assumindo que 1 mM MnO<sub>4</sub> é consumido (MnVII + MnII) na oxidação de 0,75 mmol ou 9 mg de carbono.

## 2.6. Carbono da biomassa microbiana

O carbono da biomassa microbiana (CBM) foi determinado pelo método de fumigação-extração, segundo Vance et al. (1987). Para cada amostra utilizaram-se três repetições fumigadas com clorofórmio e três repetições não fumigadas. Após a coleta no campo, o teor de umidade das amostras contendo 20 g de solo foi elevado a 70% da capacidade de campo, quando necessário, e estas foram pré-incubadas no escuro e à temperatura ambiente por um período de sete dias. No sexto dia de pré-incubação, metade das amostras foi fumigada por 48 horas em um dessecador, contendo uma placa de Petri com 25 ml de clorofórmio livre de álcool. Durante este período, as amostras não-fumigadas foram mantidas à temperatura ambiente. O carbono da biomassa microbiana do solo foi extraído pela adição de 50 ml de uma solução de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,5 mol L<sup>-1</sup> às amostras de solo, que em seguida foram submetidas à agitação horizontal (150 rpm) por 40 minutos. Após a filtração das amostras com o papel Whatman n° 2, adicionaram-se 2 ml de K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 0,4 mol L<sup>-1</sup> e 15 ml de solução ácida (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 99% e H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 85%) numa proporção de 1:2 em erlenmeyers de 250 ml. As amostras foram fervidas sob-refluxo por 30 minutos, acrescentando-se 20 ml de água destilada. O dicromato residual foi determinado pela titulação com uma solução de sulfato ferroso amoniacal [(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> Fe(SO<sub>4</sub>). 6H<sub>2</sub>O 0.033 mol L<sup>-1</sup>] em ácido sulfúrico concentrado, na presença de um indicador composto por fenantrolina (0,075 mol L<sup>-1</sup>) e sulfato ferroso (0,041 mol L<sup>-1</sup>). A quantidade de CBM foi determinada pela diferença entre o carbono orgânico extraível das amostras de solo fumigadas e não fumigadas, usando um fator de correção (K) igual a 0,35 conforme (Joergensen, 1995). Os resultados da medição do CBM foram expressos em g C kg<sup>-1</sup> de solo.

## 2.7. Atividade enzimática

Foi determinada a atividade da enzima  $\beta$ -Glicosidase de acordo com Tabatabai (1994), baseando-se na determinação colorimétrica do *p*-nitrofenol liberado por essa enzima, quando o solo é incubado com uma solução tamponada de substratos específicos (*p*-nitrofenil e  $\beta$ -D-glucopiranosídeo). Utilizaram-se duas repetições analíticas mais um controle. Utilizou-se uma curva padrão preparada com concentrações de 0, 10, 20, 30, 40 e 50  $\mu\text{g}$  de *p*-nitrofenol  $\text{mL}^{-1}$ . A atividade enzimática foi expressa em  $\mu\text{g}$  de *p*-nitrofenol  $\text{h}^{-1} \text{g}^{-1}$  solo.

Também foi determinada a atividade da enzima celulase baseada na determinação colorimétrica de açúcares redutores liberados após a incubação das amostras de solos com carboxy methyl cellulose (CMC) por 24 horas a 50 °C (Schinner & Von Mersi, 1990). Utilizaram-se duas repetições analíticas mais um controle. Utilizou-se uma curva padrão preparada com as concentrações 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18 e 21  $\mu\text{g}$  de glicose  $\text{mL}^{-1}$  para determinação da quantidade de glicose liberada das amostras. A atividade da celulase foi expressa em  $\mu\text{g}$  glicose  $\text{g solo}^{-1} 24\text{h}^{-1}$ .

## 2.8. Análise Estatística

Os teores de carbono em suas diferentes frações foram analisados estatisticamente utilizando o *software* SAS 9.1. Na análise de variância foi considerando o modelo misto de máxima verossimilhança restrita via PROC MIXED do SAS 9.1.

O modelo usado para o estudo assumiu a seguinte forma:

$$Y_{ijk} = \mu + B_j + S_i + \text{Erro } ij + D_k + (SD)ik + Pl + (PS)il + PD Kl + PSD ikl + \text{Erro } ijk$$

Em que  $\mu$  = média geral dos dados; B = bloco ( $j = 1,2,3$ ); S = sistema de manejo ( $i = 1, 2$ ); D = dose de P ( $k = 1, 2$ ); P = profundidade ( $l = 1, 2, 3$ ); Erro = erro experimental.

Quando a análise de variância apontou significância, o teste de hipótese de Student (t) ( $p < 0,05$ ) foi utilizado para distinção das médias.

Para observar a semelhança entre os sistemas de manejo, plantas de cobertura e doses de P, com base na análise conjunta das variáveis, os diferentes tratamentos foram ordenados pela técnica de análise de escala multidimensional não-paramétrica (NMS) com uma matriz de variância e covariância. Nessa análise, foram incluídas as variáveis

COT, F1+F2, COP, CL, CMOL, CBM, AFL, AF, AH, HU, SH, Celulase,  $\beta$ -glicosidase e P.

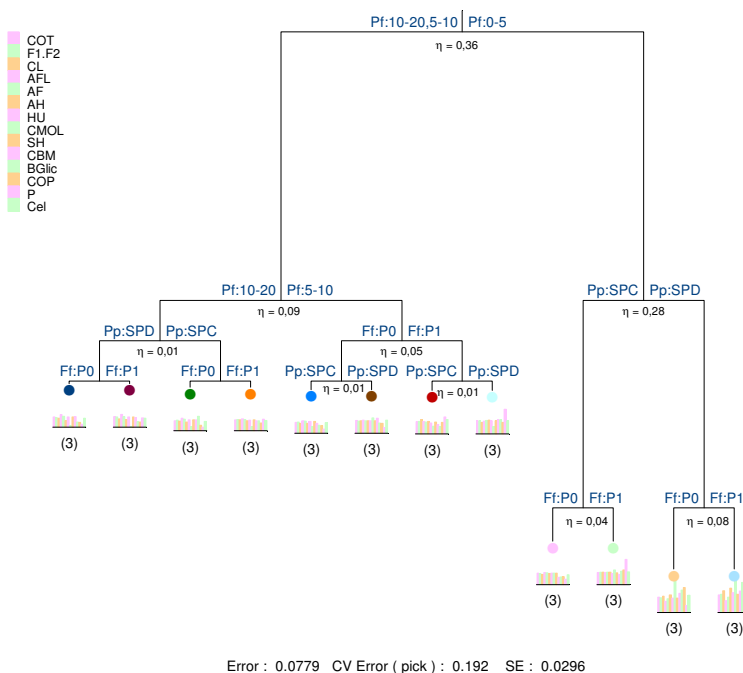
Outra técnica usada para avaliar a variabilidade das variáveis correlacionadas a MOS foi o modelo de regressão em árvore, levando em consideração as variáveis explicativas: profundidade (0-5; 5-10; 10-20); planta de cobertura (Mc – Mucuna; MI – Milheto); e doses de P (P0; P1) e preparo do solo convencional e plantio direto (SPC e SPD respectivamente). Para essas análises foi utilizado o programa estatístico S-PLUS 4. Nessa análise, foram incluídas as variáveis COT, F1+F2, COP, CL, CMOL, CBM, AFL, AF, AH, HU, SH, Celulase,  $\beta$ -glicosidase e P.

Para avaliar os impactos do uso do solo foi determinando o teor relativo do C e de suas frações lábeis e humificadas e da atividade enzimática em porcentagem para cada sistema de manejo tendo o solo de Cerrado sob vegetação nativa como referência, representado pelo valor 100%.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Regressão em Árvore do Carbono Orgânico Total do Solo e suas Frações Comparando Sistemas de Preparo e Planta de Cobertura

O modelo de regressão em árvore formado pelas frações e enzimas relacionadas ao COT analisados nesse estudo encontra-se na figura 2, comparando os dois sistemas de preparo do solo. Na análise de todos os atributos em conjunto, o modelo explicou 93% da variabilidade dos atributos em sistemas de manejo sob SPD e SPC com milho como planta de cobertura. A profundidade foi o fator mais importante associado com as mudanças dos atributos do COT, pois explicou 45% da variabilidade total, seguido pelo preparo (31%) e doses de P (17%) (Figura 2).



**Figura 2:** Modelo de regressão em árvore formado por frações lábeis e humificadas do COT, atividade enzimática e teores de P no solo, levando em consideração os fatores Preparo (Pp; SPD-sistema de plantio direto; SPC-sistema de plantio convencional); Profundidade (Pf; 0-5; 5-10; 10-20 cm); e doses de P (Ff; P0; P1, 0 e 100 kg de  $P_2O_5$  aplicados ao solo, respectivamente). (3) = número de repetições.  $\eta$  = variabilidade explicada.

A primeira divisão resultou na separação de dois ambientes: o primeiro composto pela camada superficial do solo (0-5 cm) e o segundo pelas camadas 5-10 e 10-20 cm que também sofreram em seguida uma divisão.

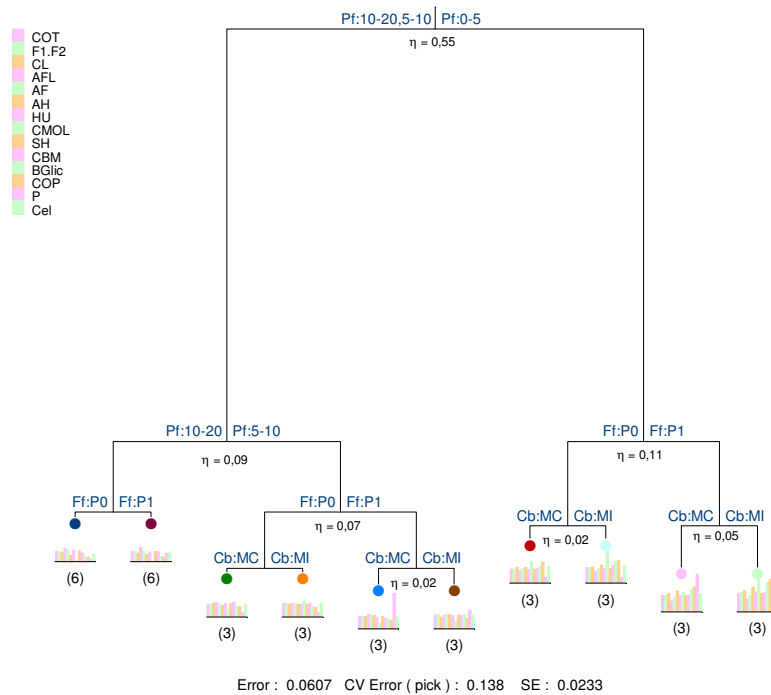
Vários fatores podem interferir na distribuição das frações do COT em profundidade, dentre eles se destaca a deposição de resíduos culturais sobre o solo e a concentração de raízes nas camadas mais superficiais (Jerke et al., 2012).

O aporte do material orgânico depositado na superfície pelas culturas instaladas influencia os teores dos atributos relacionados ao COT, pois os resíduos vegetais constituem-se fundamentalmente de restos de culturas remanescentes dos cultivos anteriores localizados na superfície do solo (Bayer et al., 2006). Com isso geralmente a camada mais superficial apresenta teores mais elevados das frações do COT em relação às mais profundas (Barreto et al., 2008; Rangel et al., 2008; Carmo et al., 2012). Além disso, a ausência de revolvimento no SPD, associado à maior cobertura do solo, estabelece um ambiente propício para os microrganismos do solo, principalmente na camada superficial.

A camada de 0-5 cm foi sensível ao tipo de preparo do solo ( $\eta = 28\%$ ). Nessa camada verifica-se uma separação entre os sistemas de manejo, também verificada na camada de 10-20 cm, porém, nesta camada a interferência do preparo foi bem menos pronunciada ( $\eta = 1\%$ ).

Esses dois tipos de preparo do solo ocasionaram comportamentos distintos nos atributos do COT nas diferentes profundidades.

Ao analisar as diferentes plantas de cobertura no sistema sob plantio direto (SPDmc e SPDml), observa-se que o modelo explicou 91% da variabilidade dos atributos correlacionados ao COT (Figura 3). A profundidade também foi o fator que mais diferenciou, separando o ambiente da camada 0-5 cm das demais, com 64% da variabilidade dos dados explicada. Além da profundidade, a dose de P também promoveu distinção entre sistemas ( $\eta = 18\%$ ). Essas informações confirmam a importância da estratificação dos atributos apresentada pelo plantio direto. Além disso, demonstram a importância do P para o desenvolvimento das plantas sob plantio direto em solos do Cerrado (Sousa et al., 2010). A importância da planta de cobertura no SPD apresentou baixa porcentagem de explicação da variabilidade ( $\eta = 9\%$ ).



**Figura 3:** Modelo de regressão em árvore formado por frações lábeis e humificadas do COT, atividade enzimática e teores de P no solo sob SPD (sistema de plantio direto), levando em consideração os fatores profundidade (Pf; 0-5; 5-10; 10-20 cm); planta de cobertura (Cb; MC – Mucuna; MI – Milheto); e doses de P (Ff; P0; P1 - 0 e 100 kg de  $P_2O_5$  aplicados ao solo, respectivamente). (3) = número de repetições.  $\eta$  = variabilidade explicada.

### 3.2. Teor de Carbono Orgânico Total do Solo

Na análise de variância para os teores de carbono orgânico total (COT) foram significativos os efeitos simples de sistemas, doses e profundidades, das interações duplas (sistemas\*profundidades e doses\*profundidades) e da interação tripla (sistemas\*doses\*profundidades) (Tabela 3).

**Tabela 3:** Significâncias ( $Pr > F$ ) dos efeitos de sistema de manejo (Sist), dose de fósforo (Dose), profundidade de amostragem (Prof) e diversas interações possíveis para os teores de carbono orgânico de um Latossolo Vermelho argiloso cultivado por 11 anos na sucessão soja-milho, sob sistemas de manejo e doses de fósforo.

Fonte de Variação	Pr > F
Sist	<0,0001
Dose	<0,0001
Sist x Dose	0,5214
Prof	<0,0001
Sist x Prof	<0,0001
Dose x Prof	0,0028
Sist x Dose x Prof	0,0337

Os teores de COT variaram de 12,9 a 24,2 g kg<sup>-1</sup> de solo (Tabela 4). Esses valores estão na faixa dos encontrados por outros autores em solos do Cerrado (Figueiredo et al., 2010; Pragana et al., 2012).

**Tabela 4:** Teor de carbono orgânico total em diferentes camadas de um Latossolo Vermelho argiloso cultivado por 11 anos na sucessão soja-milho, sob sistemas de manejo e doses de fósforo.

Prof. (cm)	SPD mucuna				SPD milho				SPC milho			
	P0		P1		P0		P1		P0		P1	
0-5	18,98	Ca	22,13	Ba	20,74	Ba	24,28	Aa	15,72	Da	16,48	Da
5-10	16,75	ABb	16,29	BCb	17,65	ABb	18,23	Ab	14,91	Cab	16,51	Ba
10-20	13,46	Bc	12,98	Bc	14,09	Abc	14,37	Abc	13,93	ABb	15,05	Aa

Prof: profundidade. SPC: sistema de preparo convencional, SPD: sistema plantio direto. P0: 0 e P1: 100 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de superfosfato triplo aplicado no sulco de semeadura. Valores seguidos da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Student (t) (p < 0,05).

Na camada de 0-5 cm, o SPDml e SPDmc apresentaram maiores teores de COT do que o SPCml. Nos sistemas sob SPD foi observado um gradiente na distribuição do COT nas diferentes camadas do solo, diferente do SPC que não apresentou diferença entre as camadas na dose P1. No SPCml sem adubação (P0) apenas a camada 0-5 cm foi superior a 10-20 cm. Esse padrão de comportamento de COT no SPD também foi verificado por Guareschi et al. (2012), que observaram maiores teores de COT em superfície no SPD em relação ao SPC. O maior teor de COT no SPD ocorre devido ao mínimo revolvimento do solo, com pouca incorporação mecânica de resíduos orgânicos em profundidade, bem como ao crescimento pronunciado das raízes nas camadas mais superficiais do solo (Bordin et al., 2008).

A estratificação do carbono no solo com um acúmulo maior em superfície é importante para a qualidade do solo no SPD, uma vez que diferentes tipos de estresses relacionados com a aplicação de agroquímicos, fertilizantes e tráfegos de máquinas incidem diretamente em sua superfície (Tormena et al., 2004). De acordo com Franzluebbbers (2002), a concentração de COT nas camadas superficiais no SPD permite maior estabilidade do sistema poroso, o que pode amenizar os efeitos da compactação do solo. Na camada de 5-10 cm, os maiores teores de COT foram encontrados no SPDml, independente da dose de P aplicada, sendo semelhante apenas ao SPDmc P0, mostrando a eficiência da gramínea em acumular carbono, decorrente da maior biomassa vegetal aérea e radicular em relação à mucuna (Nunes et al., 2011).

Na última camada avaliada (10-20 cm), verifica-se que o SPCml na dose P1 apresentou maiores teores de COT do que SPDmc com e sem adubação e não houve diferenças entre os demais sistemas. Esses resultados demonstram que o efeito do sistema SPC com dose P1 aliada à planta de cobertura milheto é mais eficiente do que o tratamento SPDmc P1 em acumular C na camada de 10-20 cm, que pode ser explicado pela incorporação da palha das culturas soja, milho e milheto nessa camada com uso do arado de discos no SPC.

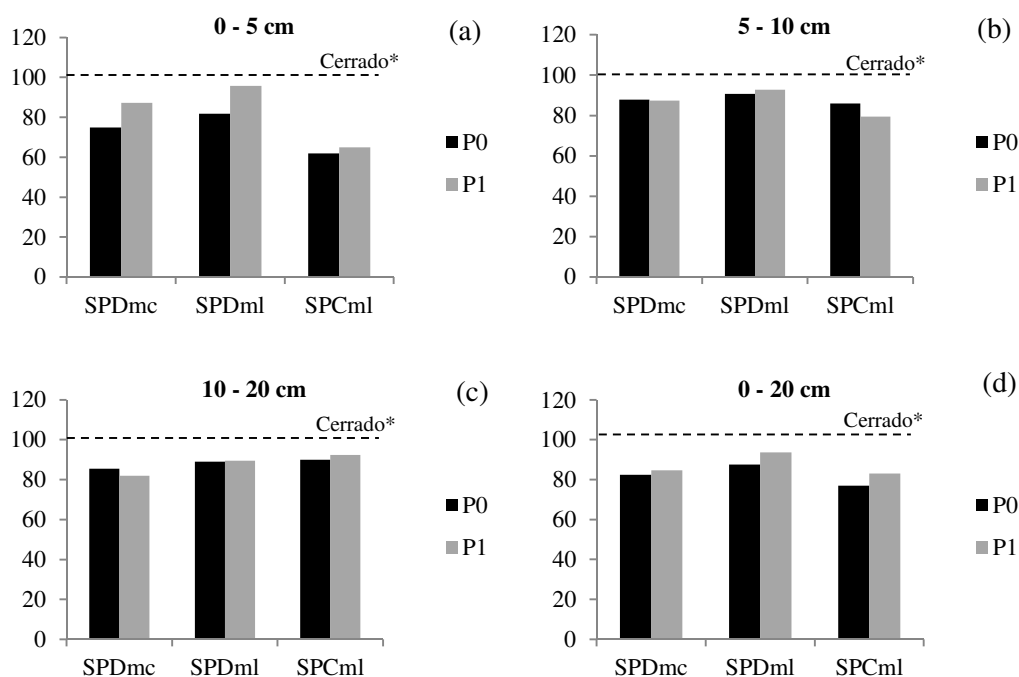
O milheto tem decomposição mais lenta devido a relação C:N mais elevada nas gramíneas (Bressane et al., 2013). Sistemas com plantas com alta relação C:N favorecem a deposição de resíduos culturais de degradação mais lenta, e portanto favorece o acúmulo de C no solo (Loss et al., 2010).

Na figura 4 são apresentados os dados do teor relativo do COT em porcentagem para os diferentes sistemas de manejo estudados, nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 0-20 cm do solo (média ponderada), tendo o Cerrado sob vegetação nativa como referência, representado pelo valor 100%.

Observa-se que todos os sistemas de manejo, independente da dose de P adicionada ou profundidade, promoveram redução de COT em relação a vegetação nativa do Cerrado (Figura 4). Resultado muito próximo foi encontrado por Rangel & Silva (2007) que observaram redução nos estoques de COT na profundidade de 0-10 cm, em relação ao sistema natural para todos os sistemas de uso e manejo do solo. No entanto, os sistemas sob plantio direto, nas duas primeiras camadas de solo avaliadas, promoveram os teores de COT mais próximos ao Cerrado, demonstrando o potencial desse sistema em produzir alimentos com reduzido impacto no balanço de carbono do solo. Nessas camadas o SPC promoveu as maiores reduções do COT, mesmo com



utilização do milho como planta de cobertura, consequência da decomposição mais acelerada da MOS promovida pelo revolvimento do solo (Nunes et al., 2011). Devido ao revolvimento do solo e incorporação do material vegetal, na camada de 10-20 o SPCml obteve os valores de COT mais próximos ao Cerrado.



**Figura 4:** Porcentagem de COT em sistemas de manejo do solo em relação a vegetação nativa do Cerrado na camadas de 0-5 (a), 5-10 (b), 10-20 (c) e 0-20 (d) cm de profundidade. \*Valor absoluto do Cerrado nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 0-20 cm correspondem a: 25,38; 19,11; 15,76 e 19,0 g kg<sup>-1</sup> solo respectivamente.

De modo geral, como se observa na profundidade de 0-20 cm (média ponderada das profundidades 0-5, 5-10 e 10-20 cm) os maiores valores se apresentaram nos sistemas em que foram aplicados 100 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> no solo em especial com milho como planta de cobertura. Isso reforça a ideia de que o uso de fertilizantes, rotação de culturas e planta de cobertura favorecem um maior aporte de fitomassa ao solo. Além disso, o abundante sistema radicular formado pela gramínea contribuiu para um sistema mais equilibrado, aproximando-se do ambiente natural.

### 3.3. Frações Lábeis do Carbono Orgânico Total

Os teores das frações lábeis do COT foram influenciados pelos sistemas de manejo e doses de P, sendo observada interação tripla apenas para o CL, o que demonstra a sensibilidade desta fração aos sistemas de manejo, culturas de cobertura, doses de fósforo e profundidade de amostragem. As demais interações são apresentadas na tabela 5. Quando não observada interação tripla optou-se por discutir as interações duplas (dose\*profundidade e sistema\*profundidade).

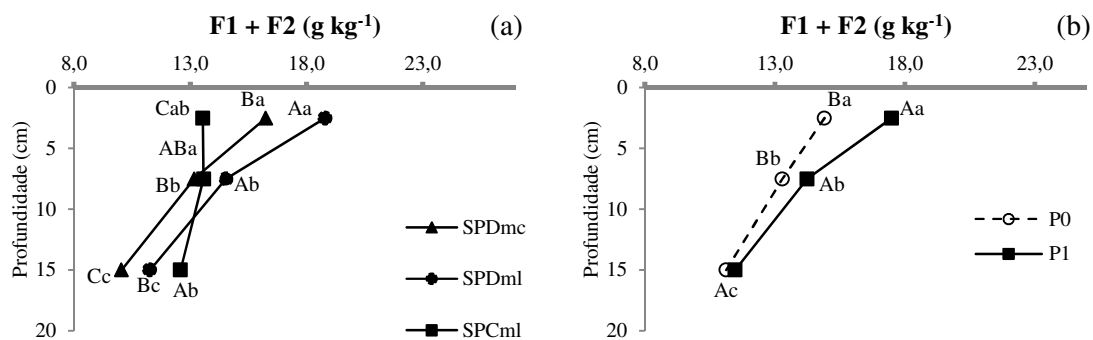
**Tabela 5:** Significâncias ( $Pr > F$ ) dos efeitos de sistema de cultivo (Sist), dose de fósforo (Dose), profundidade de amostragem (Prof) e diversas interações possíveis para os teores de carbono nas frações lábeis, em um Latossolo Vermelho.

Fonte de Variação	F1+F2	COP	CL	CMOL	CBM
-----Pr > F-----					
Sist	< 0,0001	0,0003	0,0260	< 0,0001	< 0,0001
Dose	< 0,0001	< 0,0001	0,0083	0,5865	0,5236
Sist x dose	0,1022	0,0187	0,0606	0,4135	0,9605
Prof	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Sist x Prof	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Dose x Prof	0,0008	< 0,0001	0,0068	0,1151	0,0217
Sist x dose x prof	0,2085	0,1585	0,0378	0,2293	0,2218

F1+F2 = frações oxidáveis do C por dicromato de potássio; COP = carbono orgânico particulado; CL = carbono lábil; CMOL = carbono da matéria orgânica leve; CBM = carbono da biomassa microbiana.

As frações lábeis do COT, obtidas por diferentes procedimentos, representaram teores e proporções do COT diferenciadas. Esses resultados demonstram que as técnicas de fracionamento recuperam frações bem distintas do COT.

Os teores de C facilmente oxidáveis (F1+F2) variaram entre 9,9 a 20,8 g kg<sup>-1</sup>. A distribuição dessa fração nos solo se encontra na figura 5. Valores similares aos deste estudo foram encontrados por outros autores em solos sob diferentes usos (Rangel et al., 2008; Wendling et al., 2008, Costa et al., 2013).



**Figura 5:** Distribuição da fração F1+F2 em profundidade de um Latossolo Vermelho argiloso cultivado por 11 anos na sucessão soja-milho, sob sistemas de manejo (a) (sistema de preparo convencional com milho – SPCml, sistema plantio direto com milho – SPDml e sistema plantio direto com mucuna – SPDmc) e doses de fósforo (b) (P0 e P1, 0 e 100 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de superfosfato triplo aplicado no sulco de semeadura, respectivamente). Médias com letras iguais, minúscula entre profundidades e maiúscula entre sistemas numa mesma profundidade, não diferem entre si pelo teste de Student (t) (p < 0,05).

Independente da dose de P aplicada, na camada de 0-5 cm SPDml e SPDmc apresentaram maiores teores de C na fração F1+F2 do que o SPCml. Enquanto que os sistemas sob plantio direto apresentaram uma concentração maior dessa fração na camada superficial, decrescendo gradativamente para as camadas mais profundas, o SPC apresentou uma distribuição de F1+F2 mais homogênea entre as profundidades, sendo as duas primeiras camadas similares nos teores de C dessa fração (Figura 5). Esse padrão de comportamento de maiores valores na camada de 0-5 cm em sistemas sob SPD em relação ao SPC foi observado por Loss et al. (2010). Isso indica que as práticas de aração e gradagem pode diminuir a manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo, com impactos diretos nas frações mais facilmente oxidáveis da MOS.

Na camada de 5-10 cm, maiores valores de F1+F2 foram encontrados nos sistemas SPDml e SPCml, sendo o SPDmc similar ao SPCml, indicando que o aporte de biomassa vegetal oriunda do milho foi maior em relação à mucuna, conforme observado por Nunes et al. (2011).

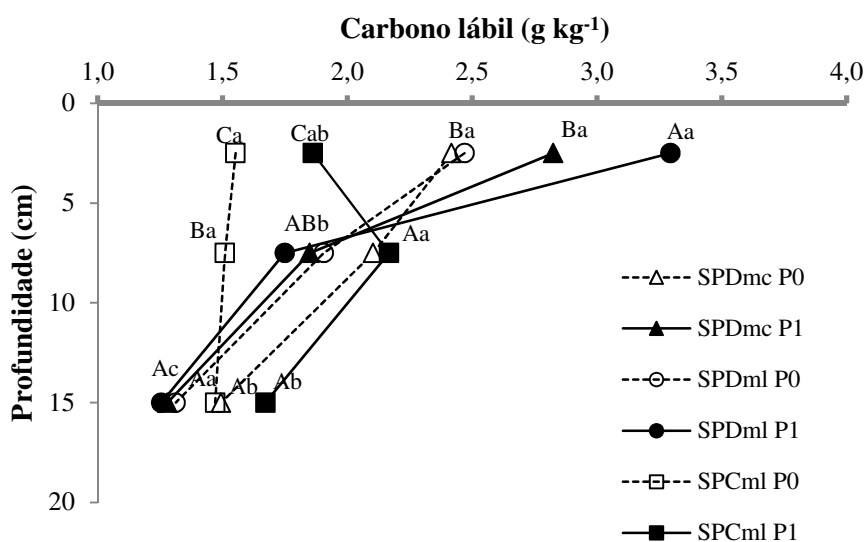
Já na camada de 10-20 cm a situação se inverte e os maiores valores de F1+F2 encontram-se no SPCml devido à incorporação de resíduos ocasionada pelo revolvimento do solo, nessa camada, corroborando com resultados de Loss et al. (2010).

Entre os sistemas sob plantio direto o SPDml apresentou maiores valores de F1+F2 do que o SPDmc, decorrente do maior aporte de resíduos vegetais oriundos do

milheto. Maiores teores de C na F1+F2 tendem a ser encontrados em áreas onde há maior aporte de MOS via resíduos vegetais (Blair et al., 1995; Chan et al., 2001; Rangel et al., 2008).

Comparando os teores de F1+F2 nas duas doses de P, observaram-se maiores teores dessa fração na dose P1 em relação a P0, nas camadas de 0-5 cm e 5-10 cm (Figura 5). Já na profundidade de 10-20 cm os valores foram similares. Esse resultado mostra que a aplicação de P promove uma maior produção e acumulação de material vegetal nas camadas mais superficiais, não apresentando efeito sobre a camada de 10-20 cm. Wendling et al. (2008) também encontraram maior acúmulo dessa fração na superfície do solo. Em solo cultivado com cafeeiro, a irrigação resultou em maiores teores de F1+F2 em todas as profundidades estudadas. Isso pode ter ocorrido devido ao maior aporte de material orgânico promovido pela irrigação em períodos de seca no Cerrado (Costa et al., 2013).

A distribuição dos teores de carbono lábil oxidado por permanganato de potássio (CL) em diferentes camadas do solo em função dos sistemas de manejo e doses de P é apresentada na figura 6.



**Figura 6:** Distribuição de carbono lábil (CL) em profundidade de um Latossolo Vermelho argiloso cultivado por 11 anos na sucessão soja-milho, sob sistemas de manejo (sistema de preparo convencional com milheto – SPCml, sistema plantio direto com milheto – SPDml e sistema plantio direto com mucuna – SPDmc) e doses de fósforo (P0 e P1, 0 e 100 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de superfosfato triplo aplicado no sulco de semeadura, respectivamente).

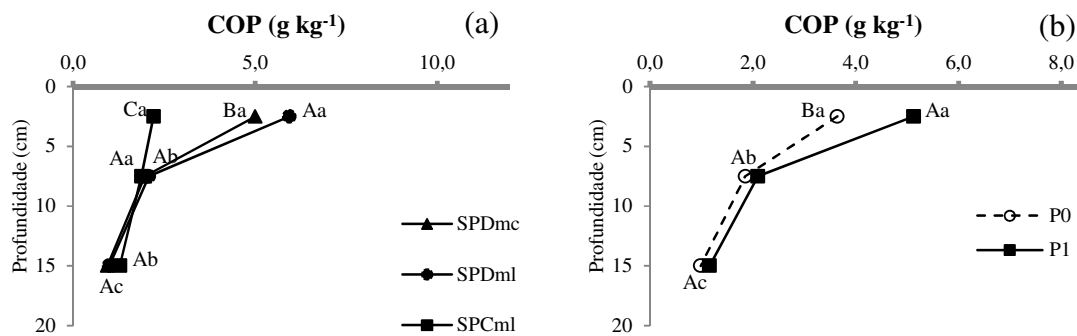
Médias com letras iguais, minúscula entre profundidades e maiúscula entre sistemas numa mesma profundidade, não diferem entre si pelo teste de Student (t) ( $p < 0,05$ ).

Nos tratamentos sob SPD, os teores de CL concentraram-se na camada de 0-5 cm e decresceram em profundidade. Por outro lado, encontra-se uma maior homogeneização dos teores dessa fração entre as camadas para o SPC. Neste sistema na dose P1 o teor de CL foi maior na camada 5-10 cm, diferindo apenas da camada de 10-20 cm.

Nos sistemas sob plantio direto, maiores teores de CL foram verificados na aplicação da dose P1, independente da planta de cobertura. Na camada de 10-20 cm não foram verificadas diferenças nos teores de CL entre os sistemas de manejo. Diferenças nos teores de CL foram restritas à camada de 0-10 cm no trabalho de Silva et al. (2011). Esses resultados demonstram que essa fração é sensível aos sistemas de manejo e doses de fósforo e está relacionada com a matéria orgânica depositadas na superfície do solo via resíduos culturais. Silva et al. (2011) indicam que sistemas conservacionistas, como o SPD, favorecem a manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo o que proporciona decomposição lenta do material vegetal depositado favorecendo o acúmulo de CL.

Os teores de carbono orgânico particulado (COP) variaram de 0,92 a 7,05 g kg<sup>-1</sup> de solo (Figura 7), valores próximos àqueles encontrados por outros autores no Cerrado (Figueiredo et al., 2010; Chiavo et al., 2011; Coser et al., 2012) em solos argilosos e muito argilosos.

Na comparação entre doses somente na camada de 0-5 cm foi verificada diferença estatística, sendo os maiores valores encontrados na dose P1, mesmo esse solo apresentando no início do experimento valores adequados de P. Isso se deve a maior produção de biomassa vegetal pelas culturas de soja, milho, milheto e mucuna quando adubadas com P. Além disso, o P na área em que não houve aplicação é exportado pelas culturas no momento da colheita, deixando o solo com menores teores desse nutriente e consequentemente menores produtividades de grãos e aporte de biomassa vegetal ao solo (Nunes et al., 2011).



**Figura 7:** Distribuição do carbono orgânico particulado (COP) em profundidade de um Latossolo Vermelho argiloso cultivado por 11 anos na sucessão soja-milho, sob sistemas de manejo (a) (sistema de preparo convencional com milho – SPCml, sistema plantio direto com milho – SPDml e sistema plantio direto com mucuna – SPDmc) e doses de fósforo (b) (P0 e P1, 0 e 100 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de superfosfato triplo aplicado no sulco de semeadura, respectivamente). Médias com letras iguais, minúscula entre profundidades e maiúscula entre sistemas numa mesma profundidade, não diferem entre si pelo teste de Student (t) ( $p < 0,05$ ).

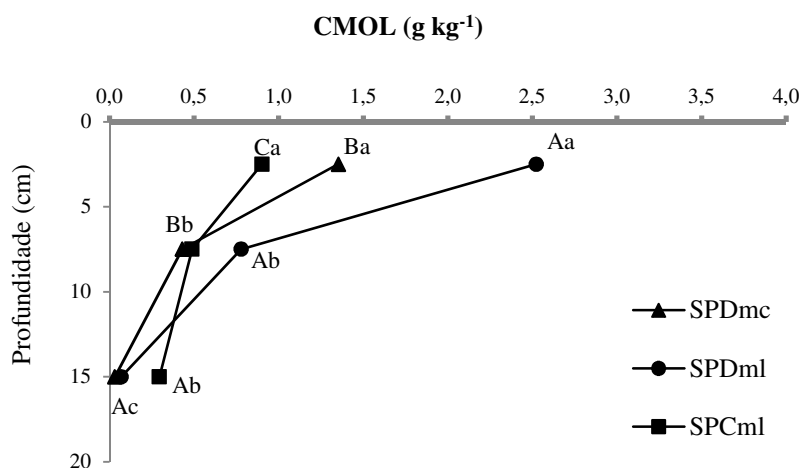
As diferenças entre os sistemas de manejo ficaram restritas à camada de 0-5 cm, sendo os sistemas sob plantio direto os que apresentaram maiores valores. Os teores de COP no SPDml foram maiores do que no SPCml, evidenciando a importância do revolvimento mínimo do solo para acumular C nas frações particuladas da MOS, que representa o principal substrato para que haja a mineralização de nutrientes pela microbiota do solo. Além disso, esse comportamento demonstra que a variação dos teores de COP entre os diferentes sistemas de manejo estudados na profundidade de 0-5 cm é dependente das espécies cultivadas (Loss et al., 2011).

Assim como foi verificado para o CL, os maiores valores de COP foram encontrados nas camadas superficiais do solo, diminuindo em profundidade. No SPC somente a primeira camada (0-5 cm) diferiu da última (10-20 cm) (Figura 7). Essa estratificação do COP também foi observada por Carmo et al. (2012) e Nunes et al. (2011).

Os teores de COP no SPDml foram maiores comparados ao SPDmc na camada de 0-5 cm. Isto indica que a palhada da parte aérea do milho contribuiu para aumentar a matéria orgânica do solo sob forma de COP na camada superficial, associada à maior produção de biomassa dessa gramínea. Já nas demais camadas de solo não foram verificadas diferenças nos teores de COP entre plantas de cobertura.

Os teores de CMOL variaram de 0,05 a 2,69 g kg<sup>-1</sup> (Figura 8). Esses dados estão próximos aos encontrados por Castro (2008), que avaliaram os teores de CMOL em diferentes tipos de solo sob mata nativa. Entre as frações lábeis do COT o CMOL foi a que apresentou a maior amplitude entre teores, demonstrando, portanto, elevada sensibilidade aos sistemas de manejo adotados em solos do Cerrado.

Na camada de 0-5 cm, os teores de CMOL variaram na seguinte ordem: SPDml > SPDmc > SPCml. Esses resultados confirmam a sensibilidade desse compartimento da MOS que representa tempo de ciclagem relativamente curto e bastante sensível a mudanças de manejo (Tirol-Padre & Ladha, 2004) principalmente nas camadas mais superficiais.



**Figura 8:** Distribuição do carbono da matéria orgânica leve (CMOL) em profundidade de um Latossolo Vermelho argiloso cultivado por 11 anos na sucessão soja-milho, sob sistemas de manejo (sistema de preparo convencional com milho – SPCml, sistema plantio direto com milho – SPDml e sistema plantio direto com mucuna – SPDmc). Médias com letras iguais, minúscula entre profundidades e maiúscula entre sistemas numa mesma profundidade, não diferem entre si pelo teste de Student (t) ( $p < 0,05$ ).

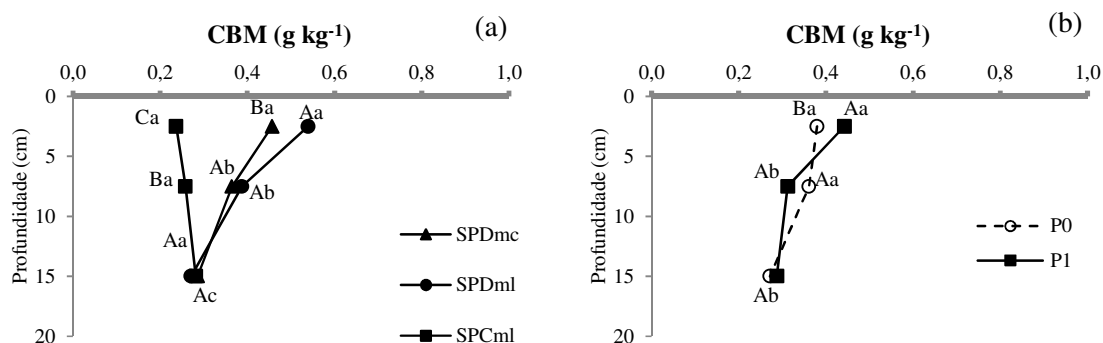
Nesse estudo, ainda na camada de 0-5 cm o revolvimento mínimo do solo ocasionado pelo SPD aliado à planta de cobertura milho foi mais eficiente em acumular CMOL, pois sistemas com elevada incorporação e manutenção de resíduos no solo afetam positivamente as quantidades de CMOL. Demetrio et al. (1998) observaram que o efeito da incorporação de resíduos no solo sobre o conteúdo de C é bem

acentuado na fração CMOL, sendo que a sua velocidade e o grau de transformação dependem da natureza química, quando os demais fatores são mantidos constantes.

Na camada de 5-10 cm, o SPDmc se igualou ao SPCml, sendo inferiores ao SPDml. Já na camada de 10-20 cm essa fração não sofreu influência dos diferentes sistemas de manejo. Assim como já demonstrado para as frações CL, F1+F2 e COP, o CMOL está relacionado com a quantidade de resíduos depositados na superfície do solo.

Observou-se um decréscimo dos teores de CMOL nas camadas de solo nos sistemas sob SPD, apresentando uma redução média de 97 % da camada de 0-5 cm para 10-20 cm de solo e 68 % da camada de 0-5 cm para 5-10 cm, portanto, diretamente ligado à estratificação dos resíduos depositados na superfície do solo em sistemas sem preparo do solo. Por outro lado, o SPCml apresentou maior uniformização entre as camadas, sendo somente 0-5 cm diferentes das demais camadas.

O CBM variou de 0,20 a 0,57 g kg<sup>-1</sup> (Figura 9). Esses resultados estão dentro da faixa dos valores normalmente encontrados em solos do Cerrado sob diferentes manejos (Ferreira et al., 2007; Nunes et al., 2011; Pragana et al., 2012).



**Figura 9:** Distribuição do carbono da biomassa microbiana (CBM) em profundidade de um Latossolo Vermelho argiloso cultivado por 11 anos na sucessão soja-milho, sob sistemas de manejo (a) (sistema de preparo convencional com milho – SPCml, sistema plantio direto com milho – SPDml e sistema plantio direto com mucuna – SPDmc) e doses de fósforo (b) (P0 e P1, 0 e 100 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de superfosfato triplo aplicado no sulco de semeadura, respectivamente). Médias com letras iguais, minúscula entre profundidades e maiúscula entre sistemas numa mesma profundidade, não diferem entre si pelo teste de Student (t) (p < 0,05).



Observa-se que na camada de 0-5 cm os sistemas avaliados diferiram entre si, sendo que SPDml e SPDmc apresentaram maiores valores do que o SPC. Resultados semelhantes foram obtidos por Lisboa et al. (2012). Considerando apenas a camada de 0-5 cm, na dose P1 e com o uso do milho, o SPD apresentou 285 kg ha<sup>-1</sup> de C microbiano, sendo mais de duas vezes a quantidade obtida no SPC (140 kg ha<sup>-1</sup>). Isto significa que o SPD além propiciar ambiente favorável à vida microbiana também apresenta maior reserva de nutrientes na forma de alta labilidade.

Para os sistemas sob plantio direto, o SPDml apresentou maiores valores na camada de 0-5 cm, indicando que o uso de gramínea como planta de cobertura proporciona maiores quantidades de resíduos na superfície do solo favorecendo um ambiente adequado para uma maior atividade microbiana. Na camada de 5-10 cm, os SPD foram similares e maiores que o SPC, porém na camada de 10-20 cm não foi observada diferenças entre os sistemas.

Geralmente os sistemas conservacionistas, como o SPD, apresentaram maiores valores de CBM, o que pode ser explicado pela maior sensibilidade do C microbiano, sendo este afetado negativamente pelo revolvimento do solo, conforme observado por diversos autores para solos do Cerrado (Figueiredo et al., 2007; Carneiro et al., 2008; Cunha et al., 2011). Uma maior aeração e incorporação de resíduos orgânicos, devido ao revolvimento do solo, como no SPC, a princípio pode elevar o CBM, mas com o passar do tempo, pode ter efeitos desfavoráveis nas populações microbianas (Perez et al., 2004).

Observa-se nos sistemas sob plantio direto uma estratificação do CBM com acúmulo maior na superfície e redução em profundidade, já no SPC os valores foram similares nas três profundidades estudadas. A taxa de estratificação do CBM entre as camadas 0-5 cm e 10-20 cm foi maior nos sistemas sob plantio direto quando comparado ao preparo convencional (Figueiredo et al., 2013). Esse comportamento entre SPD e SPC pode ser explicado pelo fato do SPD proporcionar condições favoráveis para o desenvolvimento dos microrganismos na camada superficial do solo, devido ao não revolvimento do solo e à deposição de resíduos vegetais originados das culturas instaladas. Com isso o CBM é maior nas camadas superficiais do solo neste sistema quando comparado ao sistema convencional (D'Andrea et al., 2002; Matias et al., 2009).

O CBM apresenta alta relação com a MOS, evidenciando que quanto maior for o incremento desse atributo do solo, maior será a atividade dos microrganismos, pois

além de promover proteção física, também atua como fonte de C, energia e nutrientes para as comunidades microbiológicas (Bayer & Mielknizuk, 2008; Lopes, 2012).

Ao se comparar as doses, observa-se que as diferenças ficaram restritas à camada de 0-5 cm, onde a aplicação de P proporcionou maiores valores de CBM, como consequência da maior disponibilidade de MOS na forma lábil, que representa a principal fonte de energia para os microrganismos.

As proporções das diferentes frações lábeis em relação ao COT foram bem distintas, variando de 0 a 87% (Tabela 6). A fração F1+F2 representou de 75% a 87% do COT. Isto evidencia que boa parte do COT desses sistemas está nas formas mais lábeis ou esse valor superestima a fração lábil do COT. Além disso, considerando que cerca de 80% do C está na forma de matéria orgânica humificada, pode-se inferir que a fração F1+F2 também é composta em grande proporção por C de substâncias húmicas, que são mais estáveis no solo. Loss et al. (2010) propõem que haja um balanço nos teores de C nas frações lábeis e estáveis da MOS para que haja um equilíbrio entre as funções de disponibilidade de nutrientes e estruturação (frações lábeis) e proteção física e química (frações estáveis).

**Tabela 6:** Proporções das frações lábeis em relação ao carbono orgânico total em diferentes camadas de um Latossolo Vermelho argiloso cultivado por 11 anos na sucessão soja-milho, sob sistemas de manejo e doses de fósforo.

Prof. (cm)	SPD mucuna		SPD milho		SPC milho	
	P0	P1	P0	P1	P0	P1
-----F1+F2/COT (%)-----						
0-5	80	79	81	86	82	86
5-10	78	82	79	83	87	86
10-20	75	77	78	80	88	86
-----COP/COT (%)-----						
0-5	24	25	23	29	10	17
5-10	13	11	11	12	10	14
10-20	7	7	7	7	7	10
-----CL/COT (%)-----						
0-5	13	13	12	14	10	11
5-10	13	11	11	10	10	13
10-20	11	10	9	9	11	11
-----CMOL/COT (%)-----						
0-5	7	6	11	11	5	6
5-10	3	2	6	3	3	3
10-20	0	0	1	0	2	2
-----CBM/COT (%)-----						
0-5	2	2	2	2	1	2

5-10	3	2	2	2	2	2
10-20	2	3	2	2	2	2

Prof: profundidade. SPC: sistema de preparo convencional, SPD: sistema plantio direto. P0: 0 e P1: 100 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de superfosfato triplo aplicado no sulco de semeadura.

De modo geral, a proporção do CL no COT foi baixa comparada ao C facilmente oxidável (F1+F2), variando de 8,7 a 13,5% (Tabela 6). Esses percentuais foram baixos quando comparados a outros estudos que apresentaram 25% (Shang & Tiessen, 1997) a 50% (Blair et al., 1995). Ressalta-se que a concentração de KMnO<sub>4</sub> (0,033 mol L<sup>-1</sup>) utilizada no presente estudo é mais diluída, como sugerido por Shang & Tiessen (1997) para oxidar o CL em Latossolos, quando comparada àquela sugerida por Blair et al. (1995) que é dez vezes mais concentrada, evidenciando que a concentração utilizada por esses autores oxidam formas de C não oxidadas pela proposta por Shang & Tiessen (1997).

Já as proporções de COP nos teores de COT independente da camada de solo, dose de P e sistema de manejo, foi em média 13%, variando de 7 a 29% (Tabela 6). Valores percentuais próximos aos desse estudo foram encontrados por outros autores em solos argilosos (Figueiredo et al., 2010; Schiavo et al., 2011). No presente trabalho, independente da dose de P, na camada 0-5 cm, a proporção de COP no COT foi maior no SPD quando comparado ao SPC. Nas demais camadas o comportamento foi semelhante entre os diferentes sistemas. Carmo et al. (2012) também encontraram proporções de COP/COT maiores na camada de 0-5 cm em sistemas sob plantio direto com consorciações com milho e espécies forrageiras em solos de textura argilosa a muito argilosa.

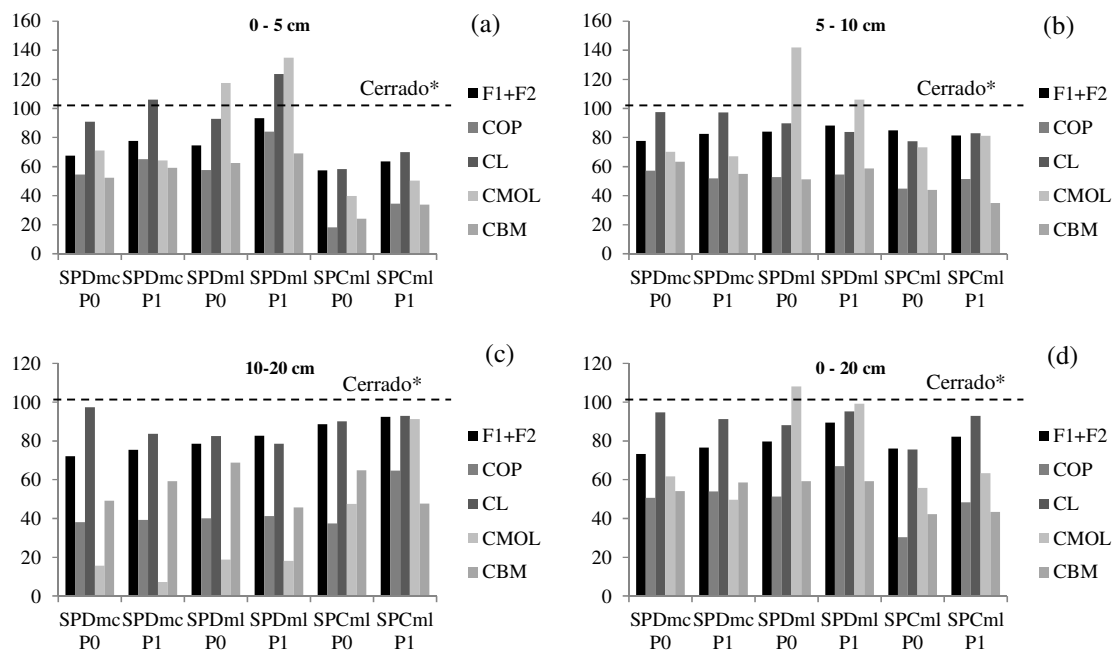
As frações que apresentaram menores proporções foram o CMOL e CBM. As proporções do CMOL variaram de 0,2% a 11,2% (Tabela 6). Considerando que sua obtenção é realizada por flotação com o uso de líquido denso (ácido fosfórico), em etapa anterior ao fracionamento húmico, pode-se dizer que esta fração é composta essencialmente pela matéria orgânica não-humificada, que no presente estudo representou em média 20% do COT. Já as proporções do CBM no COT variaram de 1,2 a 2,5 %. Esses valores estão de acordo com a literatura que indicam valores de até 4% do carbono orgânico (Matias et al.; 2009; Matoso et al., 2012; Pragana et al., 2012).

Na figura 10 estão apresentados os valores relativos das frações lábeis, em porcentagem para sistemas de manejo e doses de P, tendo o Cerrado nativo como

referência, representado pelo valor 100% na camada de 0-5, 5-10, 10-20 cm e a média ponderada das profundidades estudadas 0-20 cm do solo.

Observa-se que o uso do solo para produção agrícola no Cerrado com a adoção do SPDml nas duas doses favoreceu o incremento da fração CMOL nas camadas de 0-5, 5-10 cm, demonstrando que o milho, independente da dose de P aplicada, favorece o acúmulo de CMOL nas camadas mais superficiais. No entanto, na camada de 10-20 cm o CMOL foi a fração que sofreu a maior redução, indicando que o impacto dos sistemas nas diferentes frações lábeis é diferenciado nas camadas de solo. Outra fração lábil que apresentou incremento com o uso do solo foi o CL, quando se aplica P nos SPDmc e SPDml. Para as demais frações lábeis o uso do solo promoveu redução do carbono do solo.

O CBM e o COP foram as frações que mais sofreram redução com a incorporação de áreas nativas para agricultura nas camadas mais superficiais. De acordo com Lopes et al. (2013) os níveis de CBM em áreas do Cerrado nativo dificilmente podem ser alcançadas em solos sob cultivos de grãos no Cerrado, mesmo sob as melhores práticas de manejo. No entanto o incremento nas frações lábeis CMOL e CL promovida pelo plantio direto indicam diferenças dos compostos de C presentes nas diferentes frações lábeis do COT.



**Figura 10:** Porcentagem de frações lábeis no COT em sistemas de manejo do solo cultivado por 11 anos na sucessão soja-milho em relação a vegetação natural cerrado

nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 0-20 cm. \*Valores absolutos das frações lábeis, F1+F2, COP, CL, CMOL e CBM no Cerrado na camada de 0-5 cm: 22,41, 8,38, 2,66, 2,0, 0,82; 5-10 cm: 16,43, 3,71, 2,1, 0,62, 0,67; 10-20 cm: 13,61, 2,41, 1,59, 0,35, 0,49 g kg<sup>-1</sup> e 0-20 cm: 16,52, 4,23, 1,98, 0,83, 0,62 g kg<sup>-1</sup> respectivamente.

De maneira geral, na camada de 0-5 cm, reduções mais intensas foram verificadas com o preparo convencional do solo, especialmente com ausência da adubação fosfatada. Já na camada de 5-10 cm as reduções foram mais semelhantes entre os sistemas e na camada mais profunda o preparo convencional foi o que mais se aproximou do Cerrado. Os resultados reforçam a sensibilidade das frações mais lábeis na detecção de alterações impostas pelo uso agrícola no Cerrado.

### **3.3.1. Relação entre Frações Lábeis**

A fração F1+F2 representou, em média, 81% do COT (Tabela 6). As demais frações, COP, CL, CMOL e CBM corresponderam em média a 14, 11, 4 e 2% respectivamente, independente dos sistemas de manejo e da dose de P aplicada.

Essa elevada proporção do COT detectada na fração F1+F2 indica que a metodologia de fracionamento de carbono por diferentes graus de oxidação esteja oxidando o C em suas formas mais estáveis, como ácido fúlvico e ácido húmico.

De acordo com Rangel et al. (2008), a separação de carbono em diferentes graus de oxidação requer ajustes metodológicos pois, há dificuldade de se comparar os valores obtidos com os determinados com outros métodos de oxidação como os descritos por Blair et al. (1995) e Shang & Tiessen (1997) que apresentam proporções menores do COT, tornando evidente que a mudança nas concentrações de ácidos fará com que determinadas formas de C, antes não afetadas, sejam oxidadas pela solução oxidante proposta por Chan et al. (2001).

Por outro lado, mesmo a fração F1+F2 apresentando proporções elevadas do COT, ela se correlaciona muito bem com as outras frações lábeis (Tabela 7) além de apresentar sensibilidade em detectar mudanças nos sistemas de manejo do solo e doses de P.

Wendling et al. (2008) avaliaram frações lábeis por três métodos em sistemas agrosilvipastoris. Estes autores verificaram que os teores de F1+F2 foram de quatro a seis vezes maiores do que aqueles encontrados para CL e COP, porém foi sensível às mudanças no uso e manejo do solo. Os autores sugerem a necessidade de mais estudos

para verificar se os resultados encontrados são repetidos sob diferentes condições de solo, clima, uso e gestão. Se esta possibilidade existir, os dados referentes a fração F1+F2 do COT poderiam ser utilizados para avaliar os impactos da incorporação de áreas nativas para atividades agropecuárias. Deve-se ressaltar a facilidade metodológica desse tipo de fracionamento quando comparado as demais.

Das demais frações lábeis (COP, CL, CMOL e CBM), o COP representou, em média, a maior proporção (14%) do COT. Provavelmente isso ocorreu devido ao tipo de método granulométrico empregado na determinação dessa fração. Nesse caso, o solo é completamente disperso com um agente dispersante (hexametáfosfato) e agitação mecânica, evitando que agregados mantenham-se intactos nas frações mais grosseiras, liberando então para ser determinada toda a matéria orgânica particulada que estava dentro e entre os agregados (Roscoe et al., 2006). Segundo Golchin et al. (1994), a matéria orgânica particulada é a fração lábil que está dentro e/ou entre agregados.

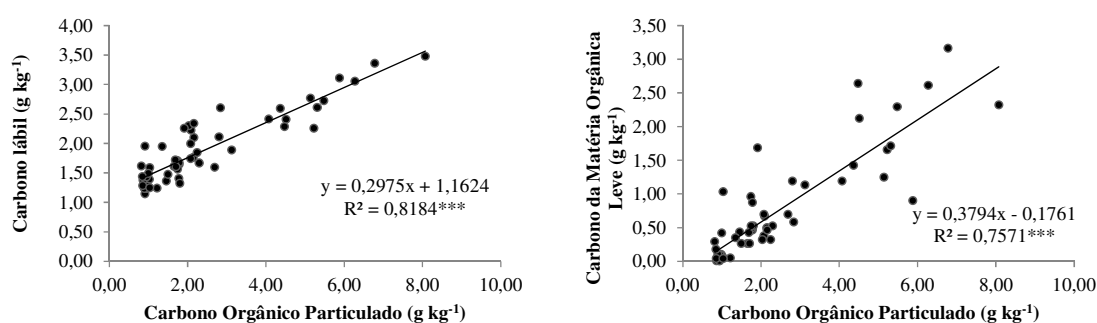
O fato do COP estar localizado entre e dentro do agregado faz da metodologia de fracionamento granulométrico um método-referência para quantificações de frações lábeis do COT em solos sob diferentes sistemas de manejo, visto que o revolvimento do solo promove perda de matéria orgânica fisicamente protegida em agregados (Figueiredo et al., 2010). Porém, em termos de facilidades metodológicas, comparado aos demais fracionamentos essa metodologia apresenta maior complexidade.

O CL oxidado pelo permanganato de potássio representou cerca de 76% do COP. O permanganato de potássio é um oxidante fraco, devendo atacar inicialmente a MOS menos protegida (Krolow, 2005). Essa determinação por ser de simples procedimento, pode ser opção para se conhecer a fração lábil do COT, pois apresentou um valor próximo ao COP e alto grau de relação com essa fração (Figura 11). Sendo assim, essa fração apresenta destaque comparada às demais, e com grande potencial para estudos da matéria orgânica de solos tropicais, como os que predominam no Cerrado.

O CMOL representou cerca de 4 % do COT e 30% do COP. Essa menor recuperação de CMOL é atribuída ao tipo de método usado, sendo este efetuado através de flotação em líquido. O líquido denso usado foi o ácido fosfórico, o qual separa somente a matéria orgânica mais livre. Isso explica os menores valores para essa fração, pois somente a fração lábil mais leve da matéria orgânica será determinada. Por não usar agente de dispersão, essa fração representa o COT que se encontra livre no solo ou depositada na superfície dos agregados, sendo a fração mais facilmente acessível aos

microrganismos apresentando um tempo curto de permanência nos solos que varia de um a cinco anos (Janzen et al., 1992).

Devido à boa relação entre as frações CL e CMOL com COP (Figura 11) pode-se inferir que o CMOL representa a parte do COP fora dos agregados. Além disso, no presente estudo, como o CMOL representou apenas 30% do COP, a maior parte da matéria orgânica lábil no Latossolo estudado pode estar protegida em agregados, ou seja 70%, valor esse muito próximo ao estimado pelo CL, que representou em média 76% do COP. Portanto, o CL pode ser utilizado com indicador do carbono não humificado protegido por agregados.



**Figura 11:** Relação entre frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho argiloso cultivado por 11 anos na sucessão soja-milho independente do sistema ou dose de P. \*\*\* significativo a 1% de probabilidade ( $p < 0,001$ ) pelo teste F.

A fração lábil que apresentou menores valores e proporções foi o CBM, sendo, em média, 2% do COT e 13% do COP. Essa fração é extremamente sensível e considerada a fração ativa da MOS (Mendes et al., 2011).

Estudos indicam que numa escala crescente de sensibilidade obtém-se, em primeira ordem, a biomassa microbiana do solo, bastante variável e sensível, considerada como compartimento ativo na dinâmica do COT, seguida pela matéria orgânica leve, de sensibilidade intermediária (Freixo et al., 2002).

Porém no presente estudo, dentre as frações lábeis avaliadas, a F1+F2 mostrou-se mais responsiva ao manejo empregado, uma vez que apresentou diferenças estatísticas entre os três sistemas nas três camadas de solo. Foi a fração mais sensível em detectar diferenças entre doses de P, nas duas primeiras profundidades. Além disso, essa fração foi sensível ao uso de diferentes plantas de cobertura em sistemas de preparo convencional em todas as profundidades. Entretanto, como já comentando no presente

estudo a metodologia usada para a determinação dessa fração pode estar superestimando os valores de matéria orgânica lábil.

A fração CL também se mostrou bastante sensível ao manejo, ao passo que foi a única a apresentar interação tripla na análise estatística (sistema\*dose\*profundidade) (tabela 5), reforçando a ideia de que o CL apresenta grande destaque entre as frações.

Na tabela 7 são apresentadas as correlações do COT com as diferentes frações lábeis, bem como as correlações entre elas. As frações lábeis apresentaram correlações positivas com o COT independente dos sistemas de manejo, dose de P e profundidade de amostragem (Tabela 7). Isso sugere a possibilidade de utilização de qualquer um desses parâmetros para avaliação do COT. Das frações lábeis, a F1+F2 foi a que melhor se correlacionou com o COT, porém essa alta correlação pode ser explicada pelo fato dessa fração representar cerca 80% do COT, não sendo um bom indicativo de labilidade do COT para solos tropicais como os que predominam no Cerrado. Já o COP e CL que apresentaram alta correlação com o COT, além de bons indicadores de estimativa do COT, podem ser utilizados também para indicar a parte lábil do COT do solo. O CL por ter metodologia de determinação mais simples que o COP, pode também ser utilizado para quantificar o COP, devido a correlação existente entre esses parâmetros.

Observa-se que todas as frações lábeis obtidas por diferentes metodologias apresentaram correlações positivas e significativas, com r acima 0,68. Wendling et al. (2008) também encontraram correlações positivas entre as frações COP, F1+F2 e CL (Tabela 7).

**Tabela 7:** Coeficientes de correlação de Pearson entre frações lábeis do carbono orgânico do solo nas camadas de 0-20 cm de profundidade (média ponderada das camadas avaliadas), independente do sistema e dose de P.

	<b>COT</b>	<b>F1+F2</b>	<b>CL</b>	<b>CMOL</b>	<b>CBM</b>	<b>COP</b>
<b>COT</b>	1,00					
<b>F1+F2</b>	0,98***	1,00				
<b>CL</b>	0,91***	0,89***	1,00			
<b>CMOL</b>	0,86***	0,85***	0,80***	1,00		
<b>CBM</b>	0,79***	0,72***	0,74***	0,68***	1,00	
<b>COP</b>	0,92***	0,91***	0,90***	0,87***	0,77***	1,00

COT: Carbono orgânico total; F1+F2: frações oxidáveis do C por dicromato de potássio F1 + F2; COP: carbono orgânico particulado; CL = carbono lábil; CMOL: carbono da matéria orgânica leve; CBM: carbono da biomassa microbiana. \*\*\*significativo a p<0,001.



As frações que melhor se correlacionaram com o COP, foram a F1+F2 ( $r= 0,91$ ) e CL ( $r=0,90$ ). As menores correlações entre as frações lábeis do carbono foram obtidas com a fração CBM. Por ser a única fração viva das frações do COT avaliada, esta fração é composta por um conjunto de substâncias e biomoléculas muito reduzido, quando comparado aos restos vegetais e demais compostos que compõem as demais frações lábeis do COT. No entanto, a relação positiva com todas as frações lábeis evidencia que o principal substrato para a microbiota do solo encontra-se nas frações lábeis do COT.

O CL apresentou-se como um bom indicador da fração lábil do COT, considerando a facilidade metodológica e sensibilidade a sistemas de manejo e doses de P aplicadas ao solo.

### 3.4. Atividade de Enzimas do Solo

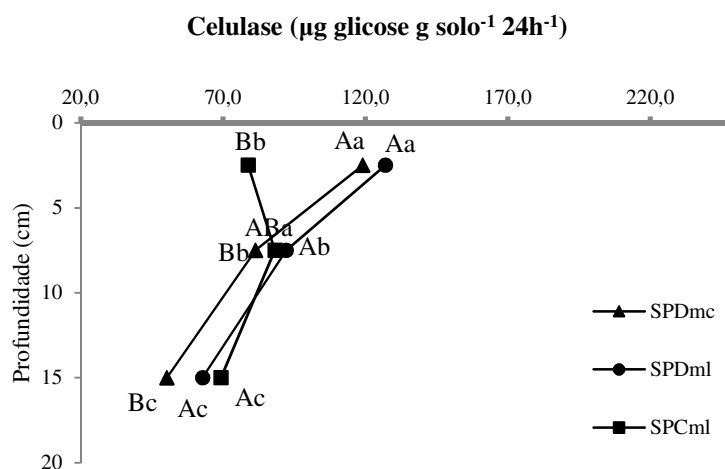
A atividade enzimática foi influenciada pelos sistemas de manejo, profundidade e doses de P não sendo observada, no entanto, interação tripla entre esses fatores. Quando não observada interação tripla optou-se por estudar as interações duplas (dose\*profundidade e sistema\*profundidade) (Tabela 8).

**Tabela 8:** Significâncias ( $Pr>F$ ) dos efeitos de sistema de cultivo (Sist), dose de fósforo (Dose), profundidade de amostragem (Prof) da atividade enzimática, em um Latossolo Vermelho cultivado por 11 anos na sucessão soja-milho.

Fonte de Variação	Celulase	$\beta$ -Glicosidase
	-----Pr>F-----	
Sist	<0,0001	0,0302
Dose	<0,0001	0,0049
Sist x dose	0,0081	0,1067
Prof	<0,0001	<0,0001
Sist x Prof	<0,0001	<0,0001
Dose x Prof	0,2468	0,0002
Sist x dose x prof	0,1029	0,5271

A atividade da enzima celulase variou de 45,26 a 132,20  $\mu\text{g}$  glicose  $\text{g solo}^{-1} 24\text{h}^{-1}$  (Figura 12). Esses valores estão próximos aos encontrados em solos do Cerrado (Lopes et al., 2013; Mendes et al., 2012). Na camada de 0-5 cm de solo foi observada maior atividade dessa enzima nos sistemas sob plantio direto comparados ao SPC,

sendo os dois SPD similares nessa camada. Esses resultados demonstram a maior capacidade do SPD em acumular C no solo, principal substrato para que haja atividade dos microrganismos, e conseqüentemente maior quantidade de enzima é liberada.

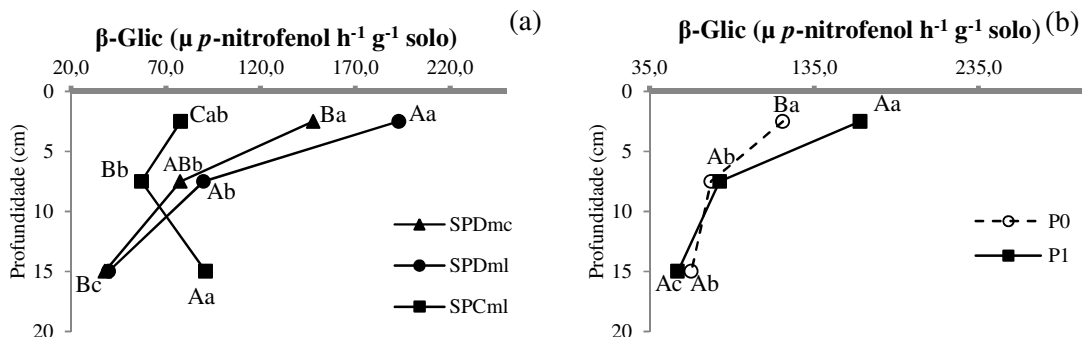


**Figura 12:** Atividade da enzima em profundidade de um Latossolo Vermelho argiloso cultivado por 11 anos na sucessão soja-milho, sob sistemas de manejo (sistema de preparo convencional com milho – SPCml, sistema plantio direto com milho – SPDml e sistema plantio direto com mucuna – SPDmc). Médias com letras iguais, minúscula entre profundidades e maiúscula entre sistemas numa mesma profundidade, não diferem entre si pelo teste de Student (t) ( $p < 0,05$ ).

Já nas camadas de 5-10 e 10-20 cm o SPDml diferenciou do SPDmc, ambos semelhantes ao SPCml na camada de 5-10 cm. Isso indica que em sistemas onde o revolvimento do solo é mínimo, o uso de plantas de cobertura, como a gramínea, favorece uma maior atividade da celulase nas camadas mais profundas do solo em relação a sistemas com uso de mucuna. Reforçado pelo fato de na camada 10-20 cm o SPDmc ter apresentado menor valor, diferenciando-se dos demais sistemas. Essa enzima não foi responsiva a dose de P.

Dos poucos trabalhos com essa enzima em solos do Cerrado, a indicação é de que a celulase está diretamente ligada a quantidade e qualidade de material orgânico na superfície do solo, principalmente aqueles ricos em celulose, pois essa enzima atua no início da decomposição desse composto (Cenciani et al., 2008). Assim, sistemas de plantio direto com uso de plantas de cobertura que acumulem resíduos vegetais no solo proporcionam maior atividade da celulase.

Os resultados para a  $\beta$ -glicosidase variaram de 34,86 a 221,25  $\mu p$ -nitrofenol  $h^{-1} g^{-1}$  solo (Figura 13). Esses valores estão na faixa de valores encontrados normalmente em solos do Cerrado (Souza et al., 2009; Lisboa et al., 2012).



**Figura 13:** Atividade da enzima  $\beta$ -glicosidase em profundidade de um Latossolo Vermelho argiloso cultivado por 11 anos na sucessão soja-milho, sob sistemas de manejo (a) (sistema de preparo convencional com milho – SPCml, sistema plantio direto com milho – SPDml e sistema plantio direto com mucuna – SPDmc) e doses de fósforo (b) (P0 e P1, 0 e 100  $kg ha^{-1}$  ano $^{-1}$  de  $P_2O_5$  na forma de superfosfato triplo aplicado no sulco de semeadura, respectivamente). Médias com letras iguais, minúscula entre profundidades e maiúscula entre sistemas numa mesma profundidade, não diferem entre si pelo teste de Student (t) ( $p < 0,05$ ).

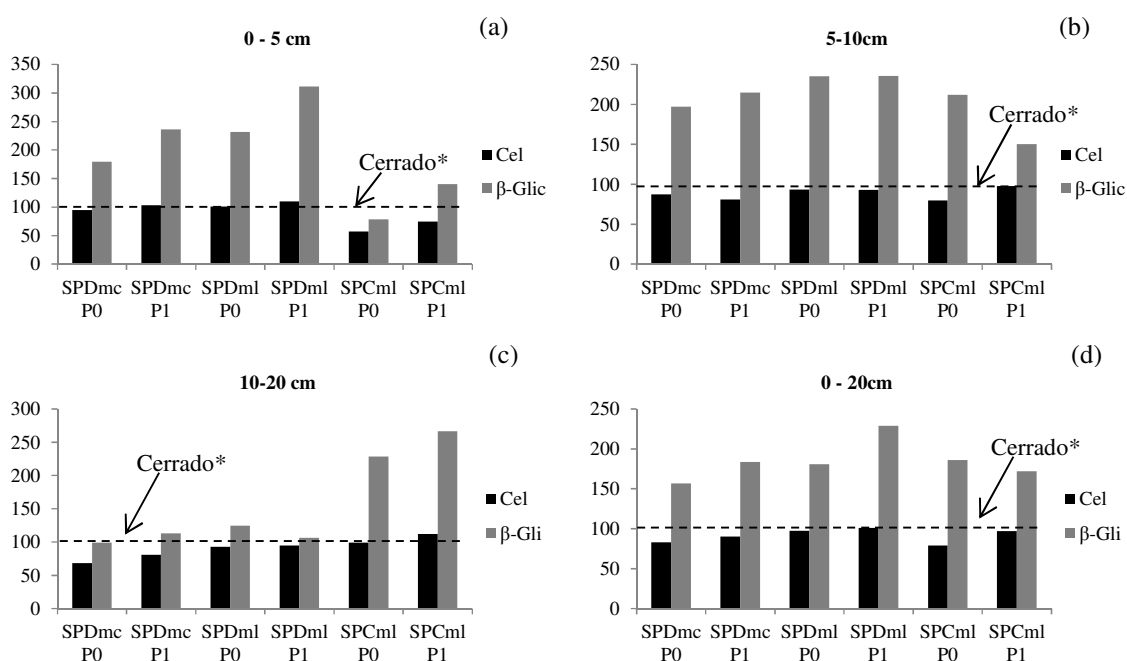
Foi observada maior atividade dessa enzima em SPD na camada superficial, enquanto que o SPC foi superior na camada mais profunda (10-20 cm). Maiores valores de atividade da  $\beta$ -glicosidase foram encontrados em áreas sob SPD em outros estudos (Lopes et al., 2013). Esses resultados demonstram a maior capacidade de sistemas conservacionistas em acumular C no solo, principal substrato para que haja a liberação de enzimas pelos microrganismos.

Observou-se nas camadas mais profundas (5-10 e 10-20 cm) que a  $\beta$ -Glicosidase foi alterada em função do preparo do solo, sendo o SPDml diferente do SPCml (Figura 13). Comportamento diferente ao encontrado para a celulase nessas mesmas profundidades onde tipo de planta de cobertura apresentou diferença no SPD. Isso indica que em camadas mais profundas a  $\beta$ -glicosidase é mais sensível ao tipo de manejo empregado ao solo, já a celulase é mais sensível ao tipo de material vegetal do solo.

Ao se comparar as doses de P, observa-se que somente na camada de 0-5 cm houve diferenças estatísticas para a atividade dessa enzima, sendo que onde o

fertilizante fosfatado foi aplicado observou-se os maiores valores da  $\beta$ -glicosidase. Esses resultados demonstram que a aplicação de P no solo favoreceu o aumento do conteúdo de COT consequentemente da atividade da  $\beta$ -glicosidase na superfície (Figura 13).

Na figura 14 estão apresentados os teores relativos da atividade enzimática em porcentagem nos sistemas de cultivo com doses de P em relação ao Cerrado, representando 100%, para as camadas de 0-5, 5-10, 10-20 cm e a média ponderada (0-20 cm do solo).



**Figura 14:** Porcentagem da atividade enzimática em sistemas de manejo do solo cultivado por 11 anos na sucessão soja-milho em relação a vegetação natural cerrado nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 0-20 cm. \*Valores absolutos da atividade enzimática na mata nativa do Cerrado na camada de 0-5 cm: 120,05 (celulase) e 71,12 ( $\beta$ -glicosidase); 5-10 cm: 97,32 (celulase) e 36,69 ( $\beta$ -glicosidase); 10-20 cm: 65,09 (celulase) e 34,55 ( $\beta$ -glicosidase); 0-20 cm: 86,89  $\mu\text{g}$  glicose  $\text{g solo}^{-1} 24\text{h}^{-1}$  (celulase) e 44,23  $\mu$  *p*-nitrofenol  $\text{h}^{-1} \text{g}^{-1}$  solo ( $\beta$ -glicosidase).

A incorporação de áreas de Cerrado nativo para produção agrícola promoveu incremento da atividade da  $\beta$ -glicosidase em quase todas as profundidades e sistemas, exceto, na profundidade 0-5 cm, onde o SPCml P0 sofreu redução comparado a mata nativa. Isso demonstra que a atividade dessa enzima está mais relacionada com a

qualidade do substrato oriundo dos resíduos de culturas agrícolas. Isso pode ser explicado pela complexidade dos resíduos retornados ao solo pelas plantas nativas, bem como a maior diversidade florística (Mendes & Reis Jr., 2004). Além disso, a menor atividade dessa enzima em área sob vegetação nativa pode ser explicada pela sua sensibilidade a ambientes com pH baixo, como ocorre nos solos do Cerrado sob vegetação natural (Ekenler & Tabatabai, 2003). Considerando-se que a  $\beta$ -glicosidase atua na etapa final de degradação da celulose, isso resulta em menor atividade dessa enzima em áreas do Cerrado nativo (Peixoto et al., 2010).

Para a enzima celulase, as maiores reduções em relação ao cerrado ocorreram na camada de 0-5 cm de profundidade no SPCml. No entanto, este mesmo sistema proporcionou um leve aumento da atividade dessa enzima na camada de 10-20 cm, o que pode ser explicado pelo material incorporado por esse sistema.

#### ***3.4.1. Correlação de Enzimas do Solo com Frações Lábeis e Carbono Orgânico Total***

A decomposição do COT do solo é realizada principalmente pelos microrganismos, sendo fundamental para liberação de nutrientes como N, P e S, dentre outros. Nesse processo são utilizadas pelos microrganismos as enzimas, e dentre essas a celulase e  $\beta$ -glicosidase que atuam como catalizadores de várias reações que resultam na decomposição dos resíduos orgânicos. Essas enzimas seriam então uma marca da atividade da biomassa microbiana no solo. Portanto, a correlação entre a celulase e  $\beta$ -glicosidase com o COT é muito alta como observado nesse trabalho (Tabela 9).

As enzimas  $\beta$ -glicosidase e celulase apresentaram elevada correlação com as frações lábeis do solo com os coeficientes de correlação variando de 0,66 a 0,93 (Tabela 9). Isso indica que para as duas enzimas houve tendência de aumento à medida que houve incrementos nos teores de MOS lábil, evidenciando que a disponibilidade de frações lábeis influencia a biomassa e a atividade dos microrganismos do solo. Ainda são poucos os trabalhos que correlacionam frações lábeis da MOS com atividade enzimática, sendo comum trabalhos que correlacionem a atividade enzimática à MOS total. Turner et al. (2002) encontraram forte correlação entre  $\beta$ -glicosidase e MOS com um  $R^2$  de 0,77, assim como Böhme et al. (2005), que encontraram um  $R^2$  igual a 0,98.

**Tabela 9:** Coeficientes de correlação de Pearson entre frações lábeis do COT com atividade enzimática do solo na camada de 0-20 cm de profundidade (média ponderada das camadas avaliadas), independente do sistema de manejo e dose de P.

Variáveis	Celulase	$\beta$ -Glicosidase
COT	0,92***	0,89***
F1+F2	0,90***	0,90***
COP	0,90***	0,90***
CL	0,86***	0,83***
CMOL	0,81***	0,83***
CBM	0,72***	0,74***

F1+F2: frações oxidáveis do C por dicromato de potássio; COP: carbono orgânico particulado; CL = carbono lábil; CMOL: carbono da matéria orgânica leve; CBM: carbono da biomassa microbiana. \*\*\* significante a  $p < 0,001$ , respectivamente.

### 3.5. Carbono de Frações Húmicas do Carbono Orgânico Total do Solo

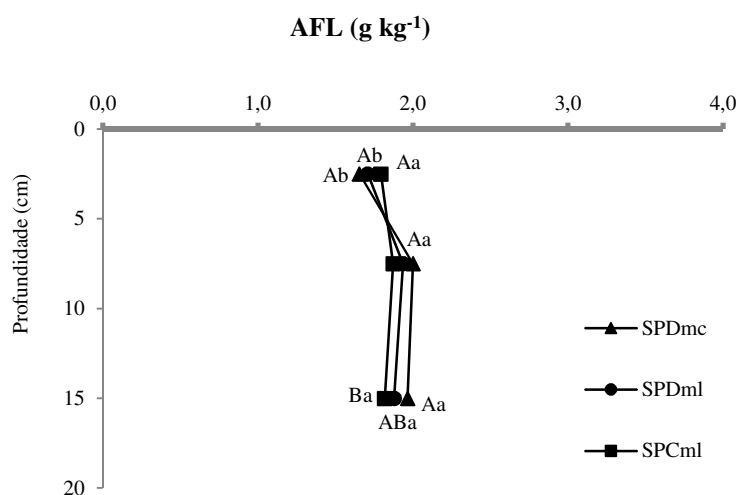
Os teores de C nas frações húmicas do COT foram influenciados pelos sistemas de manejo e doses de P não sendo observada interação tripla. Dessa forma, optou-se por discutir as interações duplas (dose\*profundidade e sistema\*profundidade). As demais interações são apresentadas na tabela 10.

**Tabela 10:** Significâncias ( $Pr > F$ ) dos efeitos de sistema de cultivo (Sist), dose de fósforo aplicada (Dose), profundidade de amostragem (Prof) e diversas interações possíveis para os teores de carbono nas frações húmicas da matéria orgânica, em um Latossolo Vermelho argiloso cultivado por 11 anos, sob sistemas de manejo e doses de fósforo.

Fonte de Variação	AFL	AF	AH	HU	SH
	-----Pr > F-----				
Sist	0,5200	0,0865	0,0293	0,0085	<0,0001
Dose	0,7470	0,3555	< 0,0001	0,5616	0,0089
Sist x dose	0,4479	0,1485	0,4499	0,0063	0,0041
Prof	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	<0,0001
Sist x Prof	0,0511	0,0006	< 0,0001	< 0,0001	<0,0001
Dose x Prof	0,3247	0,0154	0,0216	0,0004	<0,0001
Sist x dose x prof	0,0793	0,5344	0,1341	0,0568	0,0565

AFL: ácido fúlvico livre, AF: ácido fúlvico, AH: ácido húmico, HU: humina, SH: substâncias húmicas.

Os teores de C na fração ácido fúlvico livre (AFL) variaram de 1,65 a 2,00 g kg<sup>-1</sup> solo (Figura 15). Os menores valores foram encontrados na superfície do solo (0-5 cm) exceto no SPC onde não foi verificada diferença nos teores dessa fração entre as profundidades. Os maiores teores de AFL foram encontrados nas camadas mais profundas (5-10 e 10-20 cm) no SPD.



**Figura 15:** Distribuição da fração ácido fúlvico (AFL) em profundidade de um Latossolo Vermelho argiloso cultivado por 11 anos na sucessão soja-milho, sob sistemas de manejo (sistema de preparo convencional com milho – SPCml, sistema plantio direto com milho – SPDml e sistema plantio direto com mucuna – SPDmc). Médias com letras iguais, minúscula entre profundidades e maiúscula entre sistemas numa mesma profundidade, não diferem entre si pelo teste de Student (t) ( $p < 0,05$ ).

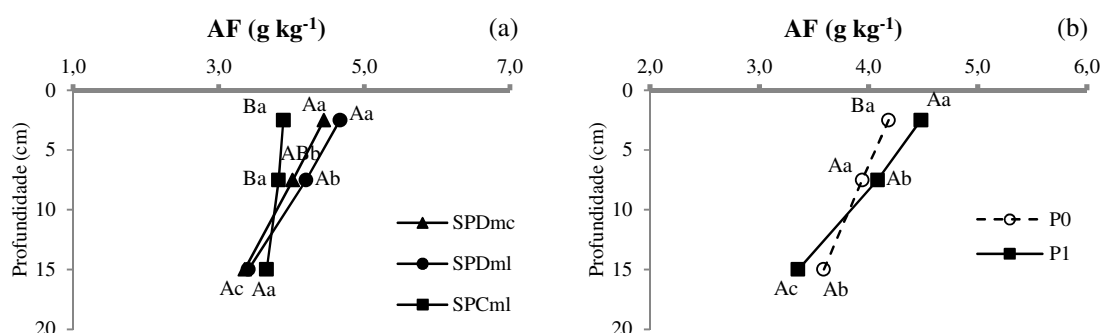
O AFL apresenta elevada mobilidade e não se encontra ligado ao material mineral (Guerra & Santos, 2008). Esse comportamento de distribuição com maiores teores em camadas mais profundas do solo demonstra essa mobilidade. Cunha et al. (2003) verificaram que em Latossolo Amarelo a fração AFL também aumentou em profundidade.

Cunha et al. (2001) também verificaram o impacto do preparo convencional nas frações húmicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo e observaram que AFL foi a única das frações húmicas que não apresentou valores inferiores no sistema de preparo

convencional em relação ao Cerrado nativo, mostrando uma maior estabilidade dessa fração em relação ao manejo do solo.

Os AFL constituem uma das frações mais importantes do húmus do Latossolos distróficos e sua presença está associada à presença de alumínio (Al) trocável, pois são adsorvidos nas argilas ou retidos sob forma de complexo com o Al (Volkoff, 1977).

Os teores de C na fração ácido fúlvico (AF) variaram de 3,11 a 4,97 g kg<sup>-1</sup> solo (Figura 16). Valores próximos a esse foram encontrados por Rosa et al. (2008).



**Figura 16:** Distribuição da fração ácido fúlvico (AF) em profundidade de um Latossolo Vermelho argiloso cultivado por 11 anos na sucessão soja-milho, sob sistemas de manejo (a) (sistema de preparo convencional com milho – SPCml, sistema plantio direto com milho – SPDml e sistema plantio direto com mucuna – SPDmc) e doses de fósforo (b) (P0 e P1, 0 e 100 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de superfosfato triplo aplicado no sulco de semeadura, respectivamente). Médias com letras iguais, minúscula entre profundidades e maiúscula entre sistemas numa mesma profundidade, não diferem entre si pelo teste de Student (t) (p < 0,05).

Os sistemas SPDml e SPDmc apresentaram maiores valores de AF e uma distribuição estratificada dessa fração entre as camadas de solo, com os maiores teores em superfície. No SPC a distribuição entre as camadas foi mais homogênea. Diversos autores encontraram maiores quantidades de C nessa fração em maiores profundidades do solo (Silva & Mendonça, 2007; Passos et al., 2007; Dick, 2009), por ser considerada mais móvel, por apresentar menor peso molecular e maior densidade de grupamentos carboxílicos do que as demais frações (AH e HU), revelando maior solubilidade, principalmente em solos ácidos como os que predominam no Cerrado. No entanto, no presente estudo, essa mobilidade no SPD não foi tão pronunciada, possivelmente associada a profundidade de amostragem que foi de apenas 20 cm. O preparo do solo

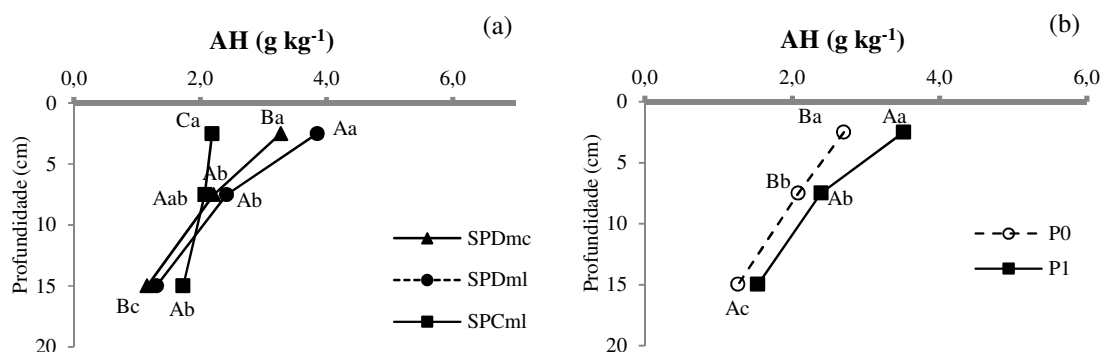


pode ter contribuído para os menores valores de AF em SPC, sugerindo movimentação dessa fração para camada abaixo dos 20 cm amostrados.

A fração ácido húmico (AH) apresentou uma distribuição no solo semelhante ao AF, com os teores decrescendo em profundidade nos SPD em relação ao SPC (Figura 17). Esse decréscimo para a fração AH foi em média de 65% da camada de 0-5 para 10-20 cm, já para a fração AF esse decréscimo foi de 25%, mostrando que a fração AF apresentou maior mobilidade no perfil do solo do que o AH.

Araújo et al. (2004) observaram que os ácidos fúlvicos e húmicos decresceram em profundidade de maneira semelhante, corroborando os resultados desse estudo.

Os valores de AH variaram de 1,1 a 4,6 g kg<sup>-1</sup> (Figura 17), resultados semelhantes foram encontrados por diversos autores (Fontana et al., 2006; Dias et al., 2007; Pessoa et al., 2012).

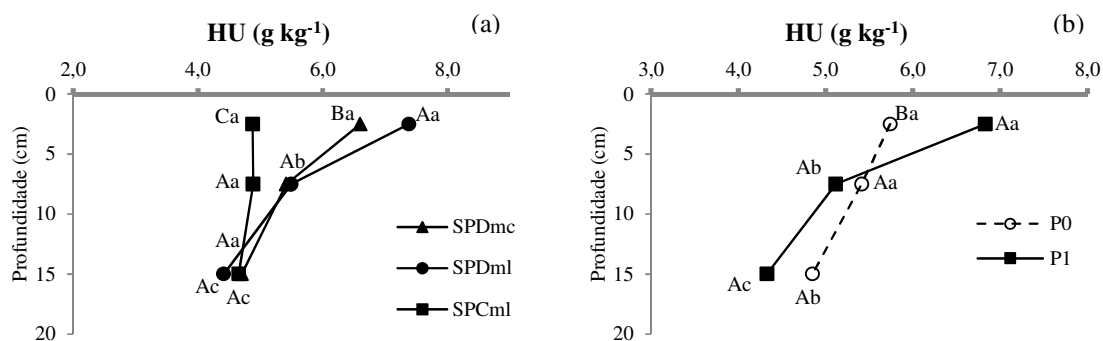


**Figura 17:** Distribuição da fração ácido húmico (AH) em profundidade de um Latosoloso Vermelho argiloso cultivado por 11 anos na sucessão soja-milho, sob sistemas de manejo (a) (sistema de preparo convencional com milho – SPCml, sistema plantio direto com milho – SPDml e sistema plantio direto com mucuna – SPDmc) e doses de fósforo (b) (P0 e P1, 0 e 100 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de superfosfato triplo aplicado no sulco de semeadura, respectivamente). Médias com letras iguais, minúscula entre profundidades e maiúscula entre sistemas numa mesma profundidade, não diferem entre si pelo teste de Student (t) (p < 0,05).

Das frações humificadas, o carbono da fração HU foi o que apresentou maiores valores entre os sistemas avaliados. Os resultados variaram de 4 a 8 g kg<sup>-1</sup>, corroborando resultados encontrados por Barreto et al. (2008) (Figura 18). O SPDmil P1 foi o sistema que mais favoreceu o acúmulo de C nessa fração e o SPDmc P1 aquele que proporcionou o menor valor. Maiores teores de C na HU evidenciam a maior abundância dessa fração no solo. Essa predominância da fração HU está relacionada à

sua insolubilidade e resistência à biodegradação favorecida pela formação de complexos argilo-húmicos estáveis (Passos et al., 2007; Silva et al, 2011; Fontana et al., 2011).

Na camada de 0-5 cm os teores de C na HU foram maiores nos sistemas sob SPD comparado ao SPC, evidenciando que mesmo essa fração sendo considerada mais recalcitrante (Tomase, 2011) é, de fato, afetada na camada de 0-5 cm pelo preparo do solo.



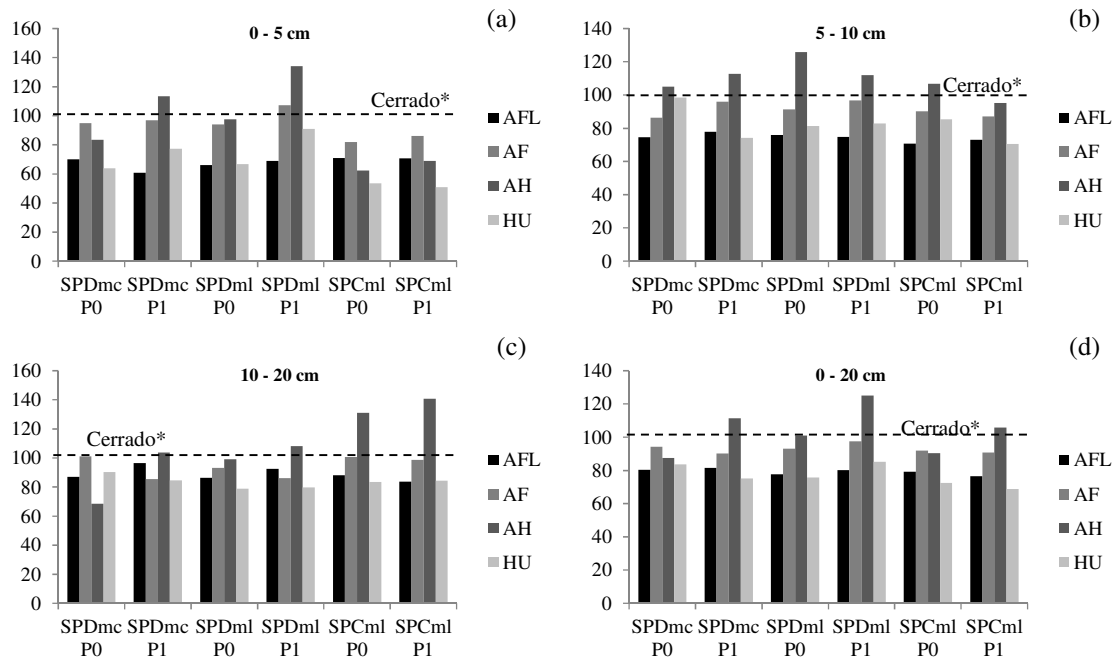
**Figura 18:** Distribuição da fração húmica (HU) em profundidade de um Latossolo Vermelho argiloso cultivado por 11 anos na sucessão soja-milho, sob sistemas de manejo (a) (sistema de preparo convencional com milho – SPCml, sistema plantio direto com milho – SPDml e sistema plantio direto com mucuna – SPDmc) e doses de fósforo (b) (P0 e P1, 0 e 100 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de superfosfato triplo aplicado no sulco de semeadura, respectivamente). Médias com letras iguais, minúscula entre profundidades e maiúscula entre sistemas numa mesma profundidade, não diferem entre si pelo teste de Student (t) (p < 0,05).

Observa-se que no sistema SPDml nas duas doses de P e no SPDmc na dose P1, os teores de HU decresceram em profundidade, sendo que somente no SPDml na dose P1 os teores diferiram nas três camadas de solo.

Na figura 19 estão apresentados os teores relativos das frações humificadas em porcentagem nos sistemas de cultivo com doses de P em relação ao Cerrado, representando 100%, para as camadas de 0-5, 5-10, 10-20 cm e média ponderada dessas profundidades estudadas (0-20 cm do solo). Mesmo sendo consideradas formas de carbono mais protegidas e estáveis no solo, as frações humificadas sofreram reduções com a incorporação de áreas de Cerrado nativo para produção agrícola. Porém observa-se incrementos da fração AH na camada de 0-5 cm no SPDmc P1, SPDml P1 e da fração AF no SPDml P1. O SPCml foi o sistema que causou maiores reduções das frações humificadas nessa camada. Esse incremento demonstra a melhoria na qualidade

do COT promovida pelos sistemas de manejo do solo em relação ao Cerrado nativo, pois os teores de AH estão diretamente correlacionados com parâmetros de fertilidade e qualidade da matéria orgânica do solo (Canellas et al., 2003; Cunha, 2002). Além disso, pode-se inferir que esse incremento pode indicar que o solo esteja se recuperando das perdas de matéria orgânica mais estável, mesmo apresentando acréscimo na fração AH, o que pode ser explicado pelo fato das frações AFL e AF apresentarem menor estabilidade e sofrerem processos de movimentação no perfil e que no processo de humificação o AH ainda não se polimerizou em HU que é a fração mais estável e que necessita de maior tempo para ser formada.

Já na camada de 5-10 cm, o incremento da fração AH foi em quase todos os sistemas, com exceção do SPCml P1. De modo geral os maiores valores se apresentaram nos sistemas em que foram aplicados 100 kg de  $P_2O_5$   $ha^{-1}$  ano $^{-1}$  no solo. Isso reforça a ideia de que o uso de fertilizantes, rotação de culturas e planta de cobertura favorecem um maior aporte de fitomassa na superfície e conseqüentemente maiores teores de C nas frações humificadas contribuindo para um sistema mais equilibrado, aproximando-se do ambiente natural.

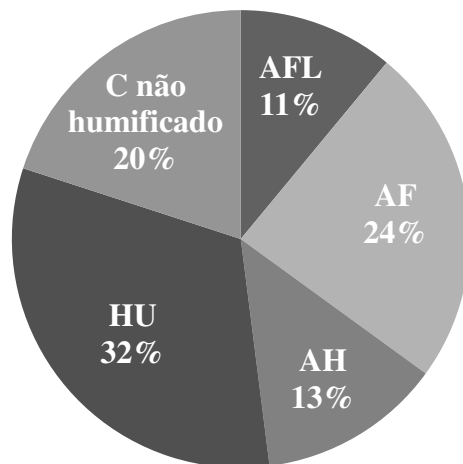


**Figura 19:** Porcentagem de frações humificadas em sistemas de manejo do solo e doses de P em relação a vegetação nativa do Cerrado nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 0-20 cm (média ponderada) de profundidade. \*Valores absolutos das frações humificadas, AFL, AF, AH e HU no Cerrado na camada de 0-5 cm: 2,53, 4,63, 3,33, 9,35; 5-10 cm: 2,60, 4,44, 2,01,

6,53; 10-20 cm: 2,12, 3,71, 1,26, 5,55 e 0-20 cm: 2,34, 4,11, 1,96, 6,74 g kg<sup>-1</sup> respectivamente.

De maneira geral independente dos sistemas e doses de P, as substâncias húmicas corresponderam, em média, a 80% do COT, portanto 20% do COT desse estudo corresponderam ao material não humificado do solo da camada de 0-20 cm (Figura 20). De todas as frações o maior percentual foi encontrado na fração HU, com 32% do COT (Figura 20).

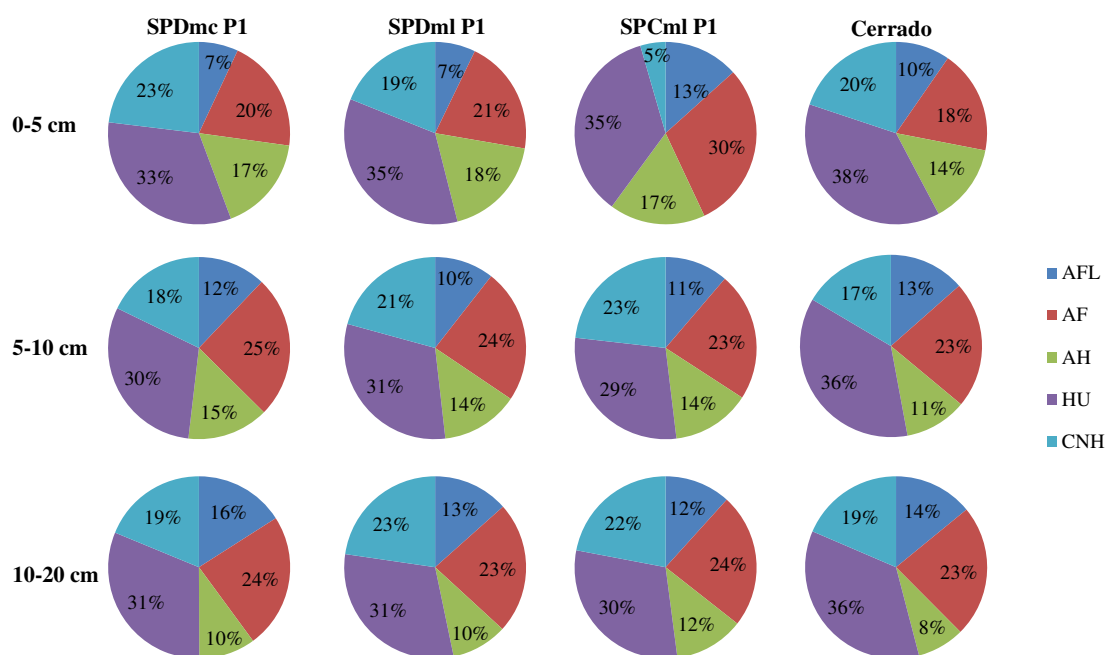
O fato da fração humina apresentar maior porcentagem de carbono orgânico pode ser justificado pela característica das frações AFL, AF e AH apresentarem menor estabilidade e sofrerem processos de movimentação no perfil, polimerização, ou mineralização, diminuindo sua composição percentual no solo (Leite et al., 2003). A sucessão de culturas, associado a contrastes climáticos, favorecem a polimerização de ácidos húmicos em humina, explicando esse aumento da HU (Silva et al., 2011).



**Figura 20:** Percentual de carbono nas frações húmicas (AFL – ácido fúlvico livre, AF – ácido fúlvico, AH – ácido húmico e HU - humina) e não humificadas em relação ao carbono orgânico total na camada de 0-20 cm de Latossolo argiloso, na vegetação nativa do Cerrado e cultivado, independente dos sistemas de manejo e doses de P.

Os menores percentuais de C no AFL em relação ao COT indicam que a intensa adição de C orgânico pelas culturas instaladas favorece a decomposição constante da MOS, propiciando a decomposição dessa fração facilmente biodegradável, como observaram Fontana et al. (2001).

Ao observar esses percentuais de C nas frações húmicas em relação ao COT nos diferentes sistemas de manejo por profundidade (Figura 21) nota-se que as proporções das frações menos estáveis (AFL e AF) aumentaram em profundidade nos três sistemas de manejo, evidenciando a maior mobilidade dessas frações. Já o percentual de AH no COT decresce em profundidade nos três sistemas de manejo. A proporção de HU no COT decresce em profundidade nas áreas cultivadas, enquanto que no Cerrado essa proporção é mais estável.



**Figura 21:** Percentual de carbono nas frações húmicas (AFL, AF, AH e HU) e carbono não humificado (CNH) em relação ao carbono orgânico total nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm de Latossolo Vermelho argiloso cultivado por 11 anos sob diferentes sistemas de manejo com sucessão soja-milho na dose P1 (100 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de superfosfato triplo aplicado no sulco de semeadura) e sob mata nativa.

As frações humificadas apresentaram boa correlação com o COT e com a atividade enzimática, exceto o AFL que apresentou correlação negativa tanto com o COT, quanto com a atividade enzimática (Tabela 11). Essa correlação negativa pode ser explicada devido a alta mobilidade dessa fração no solo, havendo um aumento com a profundidade ao contrário do observado pelo COT. A fração AH, que é a fração mais relacionada à qualidade da matéria orgânica humificada, foi a que apresentou a maior correlação com o COT.

**Tabela 11:** Coeficientes de correlação de Pearson ente frações humificadas com o COT e atividade enzimática do solo nas camadas 0-5, 5-10 e 10-20 cm de profundidade, independente do sistema de manejo e dose de P.

Variáveis	COT	Celulase	$\beta$ -Glicosidase
AFL	-0,44**	-0,41**	-0,41**
AF	0,84***	0,77***	0,77***
AH	0,95***	0,90***	0,87***
HU	0,85***	0,72***	0,80***

F1+F2: frações oxidáveis do C por dicromato de potássio; COP: carbono orgânico particulado; CL = carbono lábil; CMOL: carbono da matéria orgânica leve; CBM: carbono da biomassa microbiana. \*\* e \*\*\* significante a  $p < 0,01$  e  $p < 0,001$ , respectivamente.

Valores da razão AH /AF têm sido propostos como parâmetro de estabilidade do COT ou o grau de evolução do processo de humificação (Kononova, 1982). Em solos tropicais, normalmente, essa relação é menor que 1, devido à menor intensidade dos processos de humificação, como a condensação e síntese, intensa mineralização dos resíduos, restrições edáficas e baixo teor de bases, restringindo a atividade biológica nos solos intensamente intemperizados (Cerri & Volkoff, 1988). No presente estudo esse índice variou de 0,2 a 0,9, com média de 0,5 evidenciando uma matéria orgânica pouco estabilizada (Tabela 12).

Observa-se que esse índice é maior na camada superficial com decréscimo em profundidade no sistema de plantio direto. Isso ocorre nas camadas mais superficiais onde o teor de matéria orgânica é maior favorecendo a atividade biológica e por conseguinte, a mineralização do COT e a produção de compostos fenólicos solúveis, os quais através do processo de policondensação dão origem a fração ácidos húmicos (Duchaufour, 1977). Quando aplicado o P no sistema de plantio direto, esse índice se aproxima do ambiente natural do Cerrado. Já no SPC nas duas doses de P os valores dessa relação são menores na camada de 0-5 cm do solo.

**Tabela 12:** Valores da razão AH /AF de um Latossolo Vermelho cultivado a 11 anos na sucessão soja-milho e da vegetação nativa do Cerrado.

Prof. (cm)	SPD mucuna		SPD milho		SPC milho		Cerrado
	P0	P1	P0	P1	P0	P1	
	-----AH/AF-----						
0-5	0,6	0,8	0,7	0,9	0,5	0,6	0,8
5-10	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,6	0,5

10-20      0,3      0,4      0,3      0,4      0,4      0,5      0,4

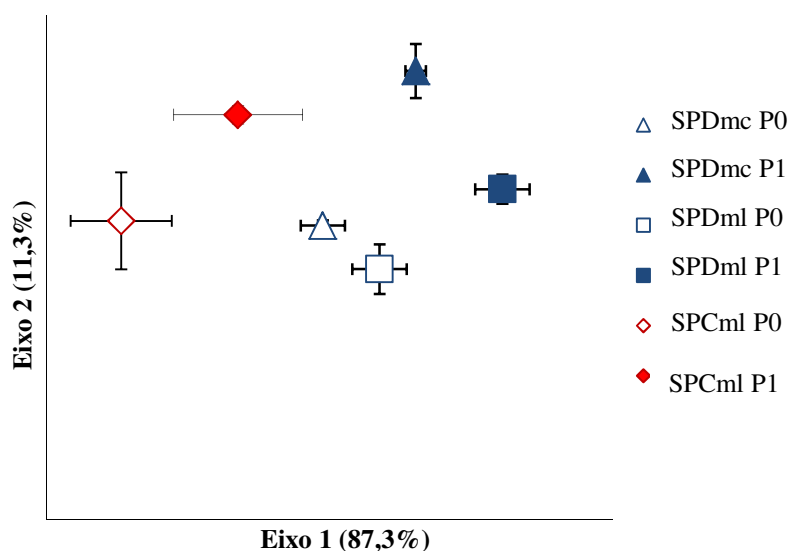
---

AH:ácido húmico, AF: ácido fúlvico. SPD: sistema de plantio direto, SPC: sistema de plantio convencional. P0 e P1: 100 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de superfosfato triplo aplicado no sulco de semeadura.

### 3.6. Análise Conjunta dos dados de Carbono Orgânico Total e suas Frações

Para estudar os dados em conjunto foi utilizada a análise multivariada. Os resultados dessa análise para profundidade 0-10 cm estão apresentados na figura 22. Aproximadamente 98 % da variabilidade dos dados foram representados em um gráfico de duas dimensões. Cerca de 87% dessa variabilidade está associada ao eixo 1 e 11% ao 2.

A análise conjunta das frações relacionadas ao COT demonstrou a separação, por meio de agrupamentos, dos sistemas de manejo com plantas de cobertura e doses de P (Figura 22). No eixo 1, que apresenta a maior porcentagem de explicação da variabilidade, foi possível a distinção dos seis tratamentos do experimento com possibilidade de visualizar dois grupos principais formados pelo sistema de plantio convencional e outro pelo sistema de plantio direto.



**Figura 22:** Análise multivariada NMS (Non-metric Multidimensional Scalling) representando a distribuição dos tratamentos avaliados (média e desvio padrão) de acordo com as similaridades nas frações do COT, atividade enzimática e fósforo, na

profundidade 0-10 cm. Os valores entre parênteses após os títulos dos eixos referem-se à percentagem da variabilidade original dos dados representada em cada eixo.

Considerando todos os atributos em conjunto, verificou-se que na camada de 0-10 cm essas frações apresentaram correlações positivas e significativas, exceto o AFL que não apresentou correlação significativa para o eixo 1, o que foi observado também na análise estatística tradicional, onde o AFL apresentou comportamento diferenciado das outras frações, com maiores teores em camadas mais profundas do solo. As maiores correlações ( $\geq 0,9$ ) foram para COT, F1+F2, CL, AH, SH,  $\beta$ -Glic e COP. Para o eixo 2, o P foi o único atributo que apresentou correlação positiva e significativa de 0,85 (Tabela 13).

**Tabela 13:** Coeficiente de correlação de Pearson das frações do COT, atividade enzimática e fósforo do solo obtidas de amostras coletadas de 0 a 10 cm de profundidade com os eixos 1 e 2 da escala multidimensional não-paramétrica.

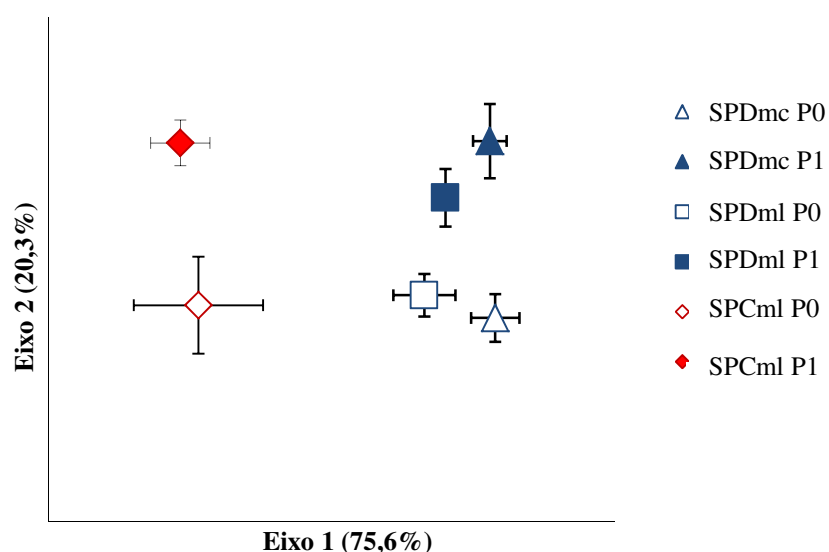
Variáveis	Coeficientes de Pearson	
	Eixo 1	Eixo 2
COT	0,97***	0,04 <sup>ns</sup>
F1+F2	0,90***	0,11 <sup>ns</sup>
CL	0,91***	0,17 <sup>ns</sup>
AFL	-0,03 <sup>ns</sup>	-0,17 <sup>ns</sup>
AF	0,84***	0,06 <sup>ns</sup>
AH	0,93***	0,18 <sup>ns</sup>
HU	0,84***	-0,09 <sup>ns</sup>
CMOL	0,68**	-0,46 <sup>ns</sup>
SH	0,94***	0,01 <sup>ns</sup>
CBM	0,84***	-0,16 <sup>ns</sup>
$\beta$ -Glic	0,93***	0,01 <sup>ns</sup>
COP	0,95***	0,14 <sup>ns</sup>
P	0,53*	0,85***
Cel	0,89***	0,15 <sup>ns</sup>

COT: carbono orgânico total; F1+F2: frações facilmente oxidáveis do COT; CL: carbono lábil; AFL: ácido fúlvico livre; AF: ácido fúlvico; AH: ácido húmico; HU: humina; CMOL: carbono da matéria orgânica leve, SH: substâncias húmicas; CBM: carbono da biomassa microbiana;  $\beta$ -Glic:  $\beta$ -Glicosidase;



COP: carbono orgânico particulado; P: fósforo; Cel: celulase. ns= não significativo, \* , \*\* e \*\*\* significativo a  $p < 0,05$ ;  $p < 0,01$  e  $p < 0,001$ , respectivamente.

Na camada de 10-20 cm a análise com todas as frações em conjunto demonstrou a separação de dois ambientes distintos, representada pelo eixo 1, cuja variabilidade explica 75,6% (Figura 23). Podem-se visualizar dois grupos formados, sendo um composto pelo sistema de plantio direto e outro pelo sistema de preparo convencional, independente da planta de cobertura e da dose de P.



**Figura 23:** Análise multivariada NMS (Non-metric Multidimensional Scalling) representando a distribuição dos tratamentos avaliados (média e desvio padrão) de acordo com as similaridades nas frações do COT, atividade enzimática e fósforo, na profundidade 10-20 cm. Os valores entre parênteses após os títulos dos eixos referem-se à percentagem da variabilidade original dos dados representada em cada eixo.

As correlações entre o eixo 1 e as variáveis foram negativas e significativas para COT, CMOL, F1+F2, celulase, COP,  $\beta$ -glicosidase e AH. Desses atributos, a fração F1+F2, CMOL e a enzima  $\beta$ -glicosidase foram as que apresentaram maiores coeficientes de correlação para a separação desses tratamentos. Para o eixo 2 só a correlação das variáveis P e AH foram positivas e significativas, sendo que o P apresentou maior coeficiente de correlação (0,96) (Tabela 14).

**Tabela 14:** Coeficiente de correlação de Pearson das frações do COT, atividade enzimática e fósforo do solos obtidas de amostras coletadas de 10 a 20 cm de profundidade com os eixos 1 e 2 da escala multidimensional não-paramétrica.

Variáveis	Coeficientes de Pearson	
	Eixo 1	Eixo 2
COT	-0,55*	0,23 <sup>ns</sup>
F1+F2	-0,85***	0,18 <sup>ns</sup>
CL	-0,44 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>
AFL	0,46 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>
AF	-0,38 <sup>ns</sup>	-0,31 <sup>ns</sup>
AH	-0,64**	0,51*
HU	-0,10 <sup>ns</sup>	-0,42 <sup>ns</sup>
CMOL	-0,94***	-0,13 <sup>ns</sup>
SH	-0,43 <sup>ns</sup>	-0,15 <sup>ns</sup>
CBM	0,01 <sup>ns</sup>	0,34 <sup>ns</sup>
β-Glic	-0,88***	-0,11 <sup>ns</sup>
COP	-0,67**	0,25 <sup>ns</sup>
P	-0,06 <sup>ns</sup>	0,96***
Cel	-0,76***	0,41 <sup>ns</sup>

COT: carbono orgânico total; F1+F2: frações facilmente oxidáveis do COT; CL: carbono lábil; AFL: ácido fúlvico livre; AF: ácido fúlvico; AH: ácido húmico; HU: humina; CMOL: carbono da matéria orgânica leve, SH: substâncias húmicas; CBM: carbono da biomassa microbiana; β-Glic: β-Glicosidase; COP: carbono orgânico particulado; P: fósforo; Cel: celulase. ns= não significativo, \* , \*\* e \*\*\* significativo a p <0,05; p<0,01 e p<0,001, respectivamente.

#### 4. CONCLUSÕES

- 1) As frações lábeis, humificadas e a atividade enzimática apresentam sensibilidade ao manejo do solo, sendo os menores teores desses parâmetros observados no sistema de preparo convencional do solo.
- 2) Existem correlações positivas e significativas entre as diferentes frações lábeis, como também entre essas frações e o carbono orgânico total do solo.
- 3) Existem correlações positivas e significativas entre as frações húmicas e carbono orgânico total, exceto para o ácido fúlvico livre em que a correlação foi negativa e significativa.
- 4) O sistema de plantio direto, de modo geral, promove estratificação do carbono orgânico total e das frações avaliadas, enquanto o sistema de preparo convencional promove uma distribuição mais homogênea nas camadas de solo avaliadas, ou seja, até 20 centímetros de profundidade.
- 5) As principais alterações ocorrem na camada superficial (0-5 cm), onde de maneira geral, o sistema de plantio direto com planta de cobertura milheto apresenta os maiores valores de carbono nas frações estudadas.
- 6) A adubação fosfatada por 11 anos promove acúmulo de carbono orgânico total e carbono em suas diferentes frações no solo, independentemente do sistema de preparo e das plantas de cobertura.
- 7) Em relação ao sistema de plantio direto, de maneira geral, aquele com planta de cobertura milheto, promove os maiores teores de carbono orgânico total e carbono nas diferentes frações.
- 8) As frações lábeis representam 20% do carbono orgânico total. Entre as frações lábeis, a F1+F2 correspondeu a 81% do carbono orgânico total e as demais frações, carbono orgânico particulado, carbono lábil, carbono da matéria orgânica leve e carbono da biomassa microbiana corresponderam em média a 14, 11, 4 e 2% do carbono orgânico total, respectivamente, independente dos sistemas de manejo e da dose de P aplicada.
- 9) Independente do sistema de preparo, dose de fósforo e profundidade de amostragem do solo, as frações humificadas representam 80% do carbono orgânico total. Entre as frações a fração húmica correspondeu a 32% do carbono orgânico total, as demais frações, ácido fúlvico livre, ácido fúlvico e ácido húmico corresponderam em média 11, 24 e 13% do carbono orgânico total, respectivamente.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, E.A.; LANI, J.L.; AMARAL, E.F.; GUERRA, A. Uso da terra e propriedades físicas e químicas de Argissolo Amarelo Distrófico na Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:307-315, 2004.

BARRETO, A.C.; FREIRE, M.B.G.; 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**, 32:1471-1478, 2008.

BAYER, C.; LOVATO, T.; DIECKOW, J.; ZANATTA, J.A. & MIELNICZUK, J. A method for estimating coefficients of soil organic matter dynamics based on long-term experiments. **Soil and Tillage Research**, 91:217-226, 2006.

BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. 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**. 2ª Ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 1-5.

BLAIR, G.J.; LEFROY, R.D.B. & LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian Journal of Agricultural Research**, 46:1459-1466, 1995.

BORDIN, I.; NEVES, C.S.V.J.; MEDINA, C.C.; SANTOS, J.C.F.; TORRES, E.; URQUIGA, S. Matéria seca, carbono e nitrogênio de raízes de soja e milho em plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 43:1785-1792, 2008.

BÖHME, L.; LANGER, U.; BÖHME, F. Microbial biomass, enzyme activities and microbial community structure in two European long-term field experiments. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 109:141-152, 2005.

BRESSANE, S.B.; NOBREGA, J.C.A.; NOBREGA, R.S.; SOUZA, L.B. Plantas de cobertura e qualidade química de Latossolo Amarelo sob plantio direto no cerrado maranhense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, 17:371-378, 2013.

CAMBARDELLA, C.A. & ELLIOTT, E.T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, 56:777-783, 1992.

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 palhço e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:935-944, 2003.

CARMO, F.F.; FIGUEIREDO, C.C.; RAMOS, M.L.G.; VILVADI, L.J.; ARAÚJO, L.G. Frações granulométricas da matéria orgânica em Latossolo sob plantio direto com gramíneas. **Bioscience Journal**, 28:420-431, 2012.

CARNEIRO, M.A.C.; ASSIS, P.C.R.; MELO, L.B.C.; PEREIRA, H.S.; PAULINO, H.B.; NETO, A.N.S. Atributos bioquímicos em dois solos de Cerrado sob diferentes sistemas de manejo e uso. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 38:276-283, 2008.

CASTRO, G.C. Carbono Orgânico nas frações granulométricas e húmicas em solos de diferentes texturas sob floresta da região noroeste mato-grossense. 2008, 45 p. Dissertação (**Mestrado**), Uniersidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Engenharia Florestal.

CENCIANI, K.; FREITAS, S.S.; CRITTER, S.A.M.; AIROLDI, C. Microbial enzymatic activity and thermal effect in a tropical soil treated with organic materials. **Scientia Agricola**, 65:674-680, 2008.

CERRI, C.C.; VOLKOFF, B. Matéria orgânica de três solos dos campos inundáveis da ilha do Marajó-PA. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 12:93-100, 1988.

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**, 166:61-67, 2001.

COSER, T.R.; FIGUEIREDO, C.C.; RAMOS, M.L.G.; JANNUZZI, H.; MARCCHÃO, R.L. Recuperação de carbono obtido por três métodos em frações da matéria orgânica de Latossolo, sob consórcio milho-forrageiras, no cerrado. **Bioscience Journal**, 28:91-97, 2012.

COSTA, A.R.; SATO, J.H.; RAMOS, M.L.G.; FIGUEIREDO, C.C.; SOUZA, G.P.; ROCHA, O.C.; GUERRA, A.F. Microbiological properties and oxidizable organic carbon fractions of na oxisol under coffee with split phosphorus applications and irrigation regime. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 37:55-65, 2013.

CUNHA, T.J.F.; MACEDO, J.R.; RIBEIRO, L.P.; PALMIERI, F.; FREITAS, P.L.F.; AGUIAR, A.C. Impacto do manejo convencional sobre propriedades físicas e substâncias húmicas de solos sob cerrado. **Ciência Rural**, 1:27-36, 2001.

CUNHA, T.J.F.; MOUTTA, R.O.; BENITES, V.M.; CANELLAS, L.P.; MADARI, B.; SANTOS, G.A. **Algumas características da matéria orgânica de solos antropogênicos na Amazônia Brasileira**. In: V Encontro Brasileiro de Substâncias Húmicas, Curitiba-PR, 2003 (138 - 140) Grupo Brasileiro da IHSS.

CUNHA, E.Q.; STONE, L.F.; FERREIRA, P.B.; DIDANET, A.D.; MOREIRA, A.A.; LENANDRO, W.M. Sistema de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35:603-611, 2011.

D'ANDREA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; SIQUEIRA, J.O.; CARNEIRO, M.A.C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:913-923, 2002.

DEMÉTRIO, R.; GUERRA, J.G.M.; SANTOS, G.A.; ALMEIDA, D.L.; POLLI, H.D.P.; CAMARGO, F.A.O. Absorção de nitrogênio do solo pelo milho influenciada

pela adição de diferentes resíduos de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 33:481-486, 1998.

DIAS, B.O.; SILVA, C.A.; SOARES, E.M.B.; BETTIOL, W. Estoque de carbono e quantificação de substâncias húmicas em Latossolo submetido à aplicação contínua de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31:701-711, 2007.

DICK, D.P.; NOVOTNY, E.H.; DIECKOW, J.; BAYER, C. Química da matéria orgânica do solo. In: MELO, V.F.; ALLEONI, L.R.F. (Eds.). **Química e mineralogia do solo**. 1. ed. Viçosa: SBCS, 2009. p. 1-67.

DIEKOW, J. Estoque e qualidade da matéria orgânica do solo em função de sistemas de cultura e adubação nitrogenada no sistema plantio direto. 2003. 154 p. Tese (**Doutorado**), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

DUCHAUFOR, Ph. Pédogenese et classification. In: DUCHAUFOR, Ph.; SOUCHIER, B., eds. **Pedologie**, Paris, 1977. v.1. 478p.

EKENLER, M.; TABATABAI, M.A. Tillage and residue management effects on  $\beta$ -glucosaminidase activity in soils. **Soil Biology & Biochemistry**, 35:871–874, 2003.

FERREIRA, E.A.B.; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C.; RAMOS, M.L.G. Dinâmica do carbono da biomassa microbiana em cinco épocas do ano em diferentes sistemas de manejo do solo no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31:1625-1635, 2007.

FIGUEIREDO, C.C.de; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C.; FERREIRA, E.A.B.; RAMOS, M.L.G. Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana em resposta a diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Vermelho no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31:551-562, 2007.

FIGUEIREDO, C.C.; RESCK, D.V.; CARNEIRO, M.A. Labile and stable fractions of soil organic matter under management systems and native cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34:907-916, 2010.

FIGUEIREDO, C.C.; RESCK, D.V.; CARNEIRO, M.A.; RAMOS, M.L. G.; SÁ, J.C. M. Stratification ratio of organic matter pools influenced by management systems in a weathered Oxisol from a tropical agro-ecoregion in Brazil. **Soil Research**, 51:133-141, 2013.

FREIXO, A.A.; MACHADO, P.L.O.A.; GUIMARÃES, C.M.; SILVA, C.A.; FADIGAS, F.S. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de Latossolo do cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 26:425-434, 2002.

FONTANA, A.; PEREIRA, M.G.; NASCIMENTO, G.B.N.; ANJOS, L.H.C.; EBLING, A.G. Matéria orgânica em solos de tabuleiros na região norte Fluminense-RJ. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, 8:114-119, 2001.

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**, 41:847-853, 2006.

FONTANA, A.; SILVA, C.F.S.; PEREIRA, M.G.; LOSS, A.; BRITO, J.R.; BENITES, V.M. Avaliação dos compartimentos da matéria orgânica em área da mata atlântica. **Acta Scintiarum.Agronomy**, 33:545-550, 2011.

FRANZLUEBBERS, A.J. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. **Soil & Tillage Research**, 66:95-106, 2002.

GUERRA, J.G.M.; SANTOS, G.A. Métodos Químicos e Físicos. 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**. 2ª Ed. Porto Alegre: Metrópole. p185-198, 2008.

GOLCHIN, A.; OADES, J.M.; SKJEMSTAD, J.O.; CLARKE, P. Soil-structure and carbon cycling. **Australian Journal Soil Research**, 32:1043-1068, 1994.



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**, 36:909-920, 2012.

JACKSON, M.L. **Analisis químico de suelos**. Barcelona: Omega, 1970. 662p.

JANZEN, H.H.; CAMPBELL, C.A.; BRANDT, S.A.; LAFOND, G.P.; TOWNLEYSMITH, L. Light-fraction organic matter in soils from long-term crop rotations. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, 56:1799-1806, 1992.

JERKE, C.; SOUSA, D.M.G.; GOEDERT, W.J. Distribuição do carbono orgânico em Latossolo sob manejo de adubação fosfatada em plantio direto no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 47:442-448, 2012.

LEITE, L.F.C.; MEMDONÇA, E.S.; NEVES, J.C.L.; MACHADO, P.L.O.A.; GALVÃO, J.C.C. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:821-832, 2003.

LISBOA, B.B.; VARGAS, L.K.; SILVEIRA, O.S.; MARTINS, A.F.; SELBACH, P.A. Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36:45-55, 2012.

LOPES, A.A.C; SOUSA, D.J.M; CHAER, G.M; REIS JUNIOR, F.B.; GOEDERT, W.J; MENDES, I.C. Interpretation of Microbial Soil Indicators as a Function of Crop Yield and Organic Carbon. **Soil Biology Biochemistry**, 77:461-472, 2013.

LOPES, A.A.C. Interpretação de indicadores microbiológicos em função da matéria orgânica do solo e dos rendimentos de soja e milho, 2012. 96 p. Dissertação (**Mestrado**), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária.

KROLOW, D.R.V. Estabilidade da matéria orgânica à oxidação com permanganato de potássio em solos do sul do Rio Grande do Sul, 2005. Dissertação (**Mestrado**). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

LOSS, A.; MORAES, A.G.L.; PEREIRA, M.G.; SILVA, E.M.R.; ANJOS, L.H.C. Carbono, matéria orgânica leve e frações oxidáveis do carbono orgânico sob diferentes sistemas de produção orgânica. **Comunicato Sciential**, 1:57-64, 2010.

LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C.; GIACOMO, S.G.; PERIN, A. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 46:1269-1276, 2011.

MATIAS, M.C.B.S; SALVIANO, A.A.C; LEITE, F.D; ARAUJO, S.F. Biomassa microbiana e estoques de C e N do solo em diferentes sistemas de manejo, no Cerrado do Estado do Piauí. **Acta Scientiarum. Agronomy**, 31:517-521, 2009.

MATOSO, S.C.G.; SILVA, A.N.; FIORELLI-PEREIRA, E.C.; COLLETA, Q.P.; MAIA, E. Frações de carbono e nitrogênio de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sob diferentes usos na Amazônia brasileira. **Acta Amazonica**, 42:231-240, 2012.

MENDES, I.C.; REIS JUNIOR, F.B. **Uso de parâmetros microbiológicos como indicadores para avaliar a qualidade do solo e a sustentabilidade dos agroecossistemas**. Planaltina –DF. Embrapa Cerrados - (Documentos / Embrapa cerrados) p.34, 2004.

MENDES, I.C.; REIS JUNIOR, F.B.; HUNGRIA, M.; FERNANDES, M.F.; CHAER, G.M.; MERCANTE, F.M.; ZILLI, J.E. Microbiologia do solo e sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: FALEIRO, F.G.; ANDRADE, S.R.M.; REIS JUNIOR, F. B. (Eds.) **Biotechnology, estado da arte e aplicações na agropecuária**. Planaltina-DF: Embrapa cerrados, 2011. p. 219-244.

MENDES, I.C.; LOPES, A.A.C.; NUNES, R.S.; SOUSA, D.M.G.; FERNANDES, M. F.; REIS JUNIOR, F.B. Atributos microbiológicos em LE de cerrado com diferentes

manejos de solo e fósforo. In: **CONGRESSO LATINO AMERICANO DE SOLO**, 19. Mar del Plata. Anais. 2012.

NELSON, D.W.; SOMMERS, L.E. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: *Methods of Soil Analysis Part 3. Chemical Methods-SSSA Book Series nº 5*. Madison: **Soil Science Society of America and American Society of Agronomy**, 1996. p.963-1010.

NUNES, R.S.; LOPES, A.A.C.; SOUSA, D.M.G.; MENDES, I.C. Sistemas de manejo e os estoques de carbono e nitrogênio em latossolo de cerrado com a sucessão soja - milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35:1407-1419, 2011.

PASSOS, R.R.; RUIZ, H.A.; MENDONÇA, E.S.; CANTARUTTI, R.B.; SOUZA, A.P. Substâncias húmicas, atividade microbiana e carbono lábil em agregados de um latossolo vermelho distrófico sob duas coberturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31:1119-11129, 2007.

PEREZ, K.S.S; RAMOS, M.L.G.; MCMANUS, C.; Carbono da biomassa microbiana em solo cultivado com soja sob diferentes sistemas de manejo nos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 39:567-573, 2004.

PEIXOTO, R.S.; CHAER, G.M.; REIS JR, F.B.; MENDES, I.C. A Decade of Land Use Contributes to Changes in the Chemistry, Biochemistry and Bacterial Community Structures of Soils in the Cerrado. **Antonie van Leeuwenhoek (Gedruckt)**, 98:403–413, 2010.

PESSOA, P.M.A; DUDA, G.P.; BARROS, R.B.; FREIRE, M.B.G.S.; NASCIMENTO, C.W.A.; CORREA, M.M. Frações de Carbono Orgânico de um Latossolo Húmico sob Diferentes Usos no Agreste Brasileiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36:97-104, 2012.

PRAGANA, R.B.; NÓBREGA, R.S.A.; RIBEIRO, M.S.; LUSTOSA Filho, J.F. Atributos biológicos e dinâmica da matéria orgânica em Latossolos amarelos na região

do Cerrado piauiense sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36:851-858, 2012.

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

RANGEL, O.J.P. & SILVA, C.A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31:1609-1623, 2007.

ROSA, C.M.; CASTILHO, R.M.V.; DICK, D.P.; PAULETTO, E.A.; GOMES, A.S. Teor e qualidade de substâncias húmicas de planossolo sob diferentes sistemas de cultivo. **Ciência Rural**, 38:1589-1595, 2008.

ROSCOE, R.; BODDEY, R.M.; SALTON, J.C. Sistemas de manejo e matéria orgânica do solo. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F.M.; SALTON, J.C. (Ed.). **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas**: modelagem matemática e métodos auxiliares. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 304p, 2006.

SCHIAVO, J.A.; BUSATO, J.G.; MARTINS, M.A.; CANELLAS, L.P. Recovery of degraded areas revegetated with *Acacia mangium* and *Eucalyptus* with special reference to organic matter humification. **Scientia Agricola**, 66:353-360, 2009.

SCHIAVO, J.A.; ROSSET, J.S.; PEREIRA, M.G.; SALTON, J.C. Índice de manejo de carbono e atributos químicos de Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 46:1332-1338, 2011.

SCHINNER, F. & VON, W. M. Xylanase, CM cellulase and invertase activity in soil an improved method. **Soil Biologic Biochemical**, 1990. 22: 511-515.

SHANG, C. & TIESSEN, H. Organic matter lability in a tropical Oxisol: evidence from shifting cultivation, chemical oxidation, particle size, density, and magnetic fractionations. **Soil Science**, 162:795-807, 1997.

SILVA, I.R. & MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p.374-470.

SILVA, E.F.; LOURENTE, E.P.R.; MARCHENTTI, M.E.; MERCANTE, F.M.; FERREIRA, A.K.T.; FUJII, G.C. Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica do solo sob integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária brasileira**, 46:1321-1331, 2011.

SOUSA, D.M.G.; & LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: Correção do solo e adubação**. 2. Ed. Planaltina, DF. Embrapa Cerrados, 2004. 416p.

SOUSA, D.M.G.; REIN, T.A.; GOEDERT, W.J.; LOBATO, E.; NUNES, R.S. Fósforo. In: PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V.; STIPP, S.R., eds. **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: Nutrientes**. Piracicaba, IPNI, 2010. 2:67- 132.

SOUZA, C.A.; REIS JUNIOR, F.B.; MENDES, I.C.; LEMAINSKI, J. SILVA, J.E. Lodo de esgoto em atributos biológicos do solo e na nodulação e produção de soja. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, 44:1319-1327, 2009.

SWIFT, R.S. Organic Matter Characterization. In: Methods of Soil Analysis Part 3. Chemical Methods-SSSA Book Series n° 5. Madison: **Soil Science Society of America and American Society of Agronomy**, 1996. p.1011-1069.

TABATABAI, M.A.. Soil enzymes. In: Weaver, R.W.; Angle, S.; Bottomley, P.S.; Bezdicek, D.; Smith, S.; Tabatabai, A.; Wollum, A. (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 2: Microbiological and Biochemical Properties. Inc. Madison: **Soil Science Society of America**. 1994. p. 778-833.

THENG, B.K.G.; TATE, K.R.; SOLLINS, P. Constituents of organic matter in temperate and tropical soils. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G., eds. **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Hawaii, Niftal Project, 1989. p.5-32.

TIROL-PADRE, A. & LADHA, K.J. Assessing the reliability of permanganate-oxidizable carbon as an index of soil labile carbon. **Soil Science Society American Journal**, 68:969-978, 2004.

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**, 28:1023-1031, 2004.

TURNER, B.J.; HOPKINS, D.W.; HAYGARTH, P.M.; OSTLE, N.  $\beta$ -glucosidase activity in pasture soils. **Applied Soil Ecology**, 20:157-162, 2002.

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass carbon. **Soil Biology and Biochemistry**, 19:703-707, 1987.

VOLKOFF, B. **La matiere organique des sols ferralitiques du nordeste du Brésil**. Cahiers ORSTOM. Série Pédologie, 1977, 15:275-289.

WENDLING, B.; JUNCKSCH, I.; MENDONÇA, E.S.; NEVES, I.C.L.; SILVA, I.R.; COSTA, L.M. Organic-Matter Lability and Carbon-Management Indexes in Agrosylvopasture System on Brazilian Savannah. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 39:1750-1772, 2008.

WALKLEY, A.; BLACK, J.A. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic titration method. **Soil Science**, 37:29-38, 1934.