

**CÍCERO CÉLIO DE FIGUEIREDO**

**COMPARTIMENTOS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO  
SOLO SOB SISTEMAS DE MANEJO E VEGETAÇÃO  
NATURAL DE CERRADO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Agronomia, área de concentração: Solo e Água.

Orientador:

**Prof. Dr. Marco Aurélio Carbone Carneiro**

Co-orientador:

**Dr. Dimas Vital Siqueira Resck**

Goiânia, GO – Brasil

Abril - 2009

**CÍCERO CÉLIO DE FIGUEIREDO**

**COMPARTIMENTOS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO  
SOB SISTEMAS DE MANEJO E VEGETAÇÃO NATURAL  
DE CERRADO**

Tese DEFENDIDA e APROVADA em 16 de abril de 2009, pela Banca Examinadora constituída pelos membros:

---

Prof. Dr. Marco Aurélio Carbone Carneiro  
Orientador - UFG

---

Prof. Dr. João Carlos de Moraes Sá  
Examinador externo – UEPG

---

Dr. Dimas Vital Siqueira Resck  
Co-orientador – Embrapa/CPAC

---

Dra. Beata Eموke Madari  
Examinadora interna – Embrapa/UFG

---

Profa. Dra. Eliana Paula Fernandes  
Examinadora interna - UFG

Goiânia, Goiás  
Brasil

## **DEDICATÓRIA**

À toda minha família, especialmente,

Aos meus extremos:

Meu pai (José Figueiredo), cuja dor fortaleceu a minha determinação;

Meu filho (Miguelzinho), cuja alegria me enche de entusiasmo;

Minha esposa (Cristiane), cujo amor, entusiasma minha determinação.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Goiás, através da Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos e do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, aos seus professores, coordenadores e funcionários, pelas oportunidades, pelos ensinamentos e pelo apoio técnico-científico.

À Embrapa Cerrados, por possibilitar a estrutura necessária para a realização deste trabalho.

À Capes, pela concessão de bolsa de estudos.

Ao meu orientador, professor Marco Aurélio Carbone Carneiro, pela confiança, pelos ensinamentos e pela contínua disponibilidade em ajudar.

Ao meu co-orientador, Dr. Dimas Vital Siqueira Resck, grande Dimas, pelo exemplo de dedicação à ciência, pelos ensinamentos precisos que ficarão para sempre e pela harmoniosa convivência.

Ao professor João Carlos de Moraes Sá, à Dra. Beata Madari e à professora Eliana Paula Fernandes, pela presteza em participar da banca, pelas valiosas sugestões apresentadas e, principalmente, pelas profundas reflexões suscitadas.

Aos pesquisadores da Embrapa Cerrados – Eloísa Aparecida Belleza Ferreira, João de Deus Gomes dos Santos Júnior, Marcos Aurélio Carolino de Sá e Robélio Marchão – por facilitarem a realização das análises e pelas constantes e profícuas discussões.

À professora Maria Lucrecia Gerosa Ramos, por permitir a realização das análises microbiológicas na UnB, pelas sugestões e pela sempre disposição em ajudar.

Aos estagiários que me auxiliaram na realização das análises (UPIS/Embrapa e UnB), especialmente os meus amigos Géssica e Arthur.

A todos os funcionários da Embrapa Cerrados, especialmente àqueles dos laboratórios de química e física do solo.

Ao técnico agrícola Carlos Alberto, grande Carlão, e ao operário de campo Jesuíno, pelo profissionalismo e dedicação na execução das atividades de campo.

Aos colegas da Pós-Graduação da UFG, especialmente Pérola, Carloeme, Glenio, Leisson, Sidney, Janne, Jeander, Leandro, Pedro (Angola), Cristiane, Priscila, Janaína e Fabiano, a alguns pelos momentos de descontração e a todos pelas ricas discussões e pelo companheirismo.

Ao Secretário da Pós-graduação da UFG, Welinton Mota, pelo profissionalismo e pela amizade.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	8
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	10
<b>RESUMO GERAL</b> .....	11
<b>GENERAL ABSTRACT</b> .....	12
<b>1 INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	13
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	16
2.1 ESTOQUES DE CARBONO E A IMPORTÂNCIA DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO PARA SOLOS DA REGIÃO TROPICAL .....	16
2.1.1 Influência da matéria orgânica do solo na capacidade de troca catiônica .....	17
2.1.2 Matéria orgânica e a agregação do solo .....	18
2.1.3 Matéria orgânica e ciclagem de nutrientes.....	20
2.2 COMPARTIMENTOS, FRAÇÕES E CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO .....	21
2.2.1 Modelos conceituais de compartimentos e frações da matéria orgânica do solo ..	21
2.2.2 Fracionamento da matéria orgânica do solo .....	23
2.2.3 Frações lábeis e estáveis da matéria orgânica em solos do Cerrado.....	25
2.3 BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO: FRAÇÃO VIVA E DINÂMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO .....	27
2.4 REFERÊNCIAS.....	31
<b>3 FRAÇÕES LÁBEIS E ESTÁVEIS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO SOB SISTEMAS DE MANEJO E VEGETAÇÃO NATURAL DE CERRADO</b> .....	40
RESUMO .....	40
ABSTRACT .....	40
3.1 INTRODUÇÃO .....	41
3.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	43
3.2.1 Localização e caracterização da área experimental .....	43
3.2.2 Sistemas de manejo estudados .....	45
3.2.3 Época e profundidades de amostragem do solo e condução das culturas.....	47
3.2.4 Fracionamento da matéria orgânica .....	48
3.2.5 Determinação das classes de agregados.....	49
3.2.6 Análises de carbono orgânico total e nitrogênio total.....	50

3.2.7	Análises estatísticas .....	50
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	51
3.4	CONCLUSÕES .....	63
3.5	REFERÊNCIAS.....	63
<b>4</b>	<b>BIOMASSA E ATIVIDADE MICROBIANA DO SOLO SOB SISTEMAS DE MANEJO E VEGETAÇÃO NATURAL DE CERRADO .....</b>	<b>68</b>
	RESUMO .....	68
	ABSTRACT .....	68
4.1	INTRODUÇÃO .....	69
4.2	MATERIAL E MÉTODOS .....	70
4.2.1	Localização e caracterização da área experimental e dos sistemas de manejo estudados.....	70
4.2.2	Época e profundidades de amostragem do solo e condução das culturas.....	71
4.2.3	Avaliação da biomassa microbiana do solo .....	71
4.2.4	Carbono da biomassa microbiana .....	72
4.2.5	Nitrogênio da biomassa microbiana.....	73
4.2.6	Respiração basal.....	73
4.2.7	Quociente metabólico .....	74
4.2.8	Carbono orgânico total e nitrogênio total .....	74
4.2.9	Análises estatísticas .....	74
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	75
4.3.1	Carbono da biomassa microbiana .....	75
4.3.2	Nitrogênio da biomassa microbiana.....	79
4.3.3	Respiração basal e quociente metabólico .....	81
4.3.4	Relações carbono da biomassa microbiana: carbono orgânico total e carbono orgânico total: nitrogênio total.....	83
4.4	CONCLUSÕES .....	87
4.5	REFERÊNCIAS.....	87
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES GERAIS .....</b>	<b>91</b>
	<b>APÊNDICES .....</b>	<b>93</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 3.1.</b>	Caracterização química e física do solo.....	43
<b>Tabela 3.2.</b>	Descrição dos sistemas de manejo do solo .....	46
<b>Tabela 3.3.</b>	Comparação do parâmetro $p_0$ da regressão $y = p_{0M} + p_1x_L + p_2x_Q + p_3x_C$ para carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico associado aos minerais (COM) e relação carbono orgânico particulado: carbono orgânico total (COP:COT) em oito sistemas de manejo do solo.....	52
<b>Tabela 3.4.</b>	Valores de F multivariado para comparação dos modelos de regressão da variável carbono orgânico particulado (COP) entre oito sistemas de manejo do solo .....	56
<b>Tabela 3.5.</b>	Comparação do parâmetro $p_0$ da regressão $y = p_{0M} + p_1x_L + p_2x_Q + p_3x_C$ para as relações carbono orgânico total: nitrogênio total (COT:NT) e carbono orgânico particulado: nitrogênio da matéria orgânica particulada (COP:NP), em oito sistemas de manejo do solo.....	57
<b>Tabela 3.6.</b>	Comparação do parâmetro $p_0$ da regressão $y = p_{0M} + p_1x_L + p_2x_Q + p_3x_C$ para carbono orgânico particulado (COPA) em diferentes classes (COPA1, COPA2 e COPA3) e diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados em oito sistemas de manejo do solo .....	60
<b>Tabela 3.7.</b>	Coefficientes de correlação de Pearson para as variáveis analisadas, considerando-se todos os sistemas de manejo do solo em conjunto .....	62
<b>Tabela 4.1.</b>	Comparação do parâmetro $p_0$ da regressão $y = p_{0M} + p_1x_L$ para carbono da biomassa microbiana (CBM) entre oito sistemas de manejo do solo .....	76



<b>Tabela 4.2.</b>	Valores de F multivariado para comparação dos modelos de regressão da variável carbono da biomassa microbiana (CBM) entre oito sistemas de manejo do solo.....	78
<b>Tabela 4.3.</b>	Comparação dos parâmetro $p_0$ e $p_1$ da regressão $y = p_{0M} + p_{1X_L}$ para nitrogênio da biomassa microbiana (NBM) entre oito sistemas de manejo do solo.....	80
<b>Tabela 4.4.</b>	Comparação do parâmetro $p_0$ da regressão $y = p_{0M} + p_{1X_L}$ para respiração basal (RB) e quociente metabólico (QMb) entre oito sistemas de manejo do solo.....	82
<b>Tabela 4.5.</b>	Comparação do parâmetro $p_0$ da regressão $y = p_{0M} + p_{1X_L}$ para carbono orgânico total (COT), relação carbono da biomassa microbiana: carbono orgânico total (CBM:COT) e carbono orgânico total: nitrogênio total (COT:NT), em oito sistemas de manejo do solo .....	83
<b>Tabela 4.6.</b>	Coefficientes de correlação de Pearson entre carbono da biomassa microbiana (CBM), nitrogênio da biomassa microbiana (NBM), relação CBM:NBM, respiração basal (RB), quociente metabólico (QMb), relação CBM:COT, carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT), considerando-se todos os sistemas de manejo em conjunto .....	86

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 3.1.</b>	Distribuição pluviométrica mensal no local da área experimental no período de 1996 a 2008.....	44
<b>Figura 3.2.</b>	Esquema representativo da cronologia de manejo do solo na área experimental.....	45
<b>Figura 3.3.</b>	Representação da área experimental.....	47
<b>Figura 3.4.</b>	Distribuição do conteúdo de carbono orgânico particulado do solo sob diferentes sistemas de manejo, conforme o modelo completo de regressão dos polinômios não-ortogonais.....	55
<b>Figura 3.5.</b>	Balanco, no perfil ( $p_0$ ), dos teores médios de C nas frações da matéria orgânica do solo, calculado pela diferença entre os sistemas de manejo e o cerrado nativo (referência = 0).....	59
<b>Figura 4.1.</b>	Etapas de determinação da biomassa microbiana do solo.....	72
<b>Figura 4.2.</b>	Distribuição do conteúdo de carbono da biomassa microbiana do solo (CBM) sob diferentes sistemas de manejo, conforme o modelo completo de regressão dos polinômios não-ortogonais.....	77
<b>Figura 4.3.</b>	Balanco dos teores médios de carbono da biomassa microbiana (CBM) e carbono orgânico total (COT) na profundidade 0-40 cm ( $p_0$ ), calculados pela diferença entre os sistemas de manejo e o cerrado nativo (referência = 0).....	86

## RESUMO GERAL

FIGUEIREDO, C. C. **Compartimentos da matéria orgânica do solo sob sistemas de manejo e vegetação natural de Cerrado**. 2009. 100 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Solo e Água) – Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2009.<sup>1</sup>

Foram estudados diferentes compartimentos da matéria orgânica do solo sob sistemas de manejo e vegetação natural de Cerrado. Esses compartimentos foram estimados por meio de seus conteúdos de carbono e nitrogênio. Determinaram-se: carbono orgânico e nitrogênio total do solo (COT e NT, respectivamente); carbono e nitrogênio da matéria orgânica particulada (> 53 µm) (COP e NP, respectivamente); carbono e nitrogênio orgânicos associados a minerais (COM e NM, respectivamente); carbono orgânico particulado associado a classes de agregados (COPA); carbono e nitrogênio da biomassa microbiana (CBM e NBM, respectivamente) e suas relações; e respiração basal como medida da atividade microbiana. Utilizaram-se oito tratamentos: sete com sistemas de manejo do solo e um com vegetação natural de Cerrado, como referência. Os sistemas estudados foram: uso de grade pesada e cultivado com leguminosas há doze anos (GP); uso de arado de discos e cultivado com leguminosas há doze anos (AD); preparo mínimo com escarificador a partir do quinto ano de experimento (ESC); plantio direto com alternância bienal de gramíneas e leguminosas (PD1); plantio direto com rotação bienal e safrinha (PD2); plantio direto com alternância anual de gramíneas e leguminosas (PD3); pastagem permanente (PAST); e cerrado nativo (CER). O experimento foi projetado para estudar a dinâmica de sistemas de preparo do solo e a rotação de culturas, com alternância no tempo e no espaço. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com três repetições. As amostras de solo foram coletadas em cinco profundidades: 0-5, 5-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm. A amostragem de solo foi realizada em fevereiro de 2008, por ocasião da floração da soja. Alterações nos teores de carbono orgânico pelo uso do solo no Cerrado ocorreram, principalmente, na fração particulada da matéria orgânica (> 53 µm) e na fração microbiana do solo (CBM), quando comparadas ao cerrado nativo. Com o uso freqüente de arado de discos no preparo do solo, ocorre aumento dos teores de matéria orgânica associada aos minerais. Nas condições edafoclimáticas do Cerrado, o uso do sistema de plantio direto, precedido de correção química e estrutural do solo, promove uma distribuição mais uniforme da matéria orgânica particulada no perfil. A biomassa microbiana é sensível às mudanças causadas pelos diferentes sistemas de manejo do solo no Cerrado.

*Palavras-chave:* fracionamento, matéria orgânica particulada, agregados, plantio direto, pastagem, biomassa microbiana, respiração basal.

---

<sup>1</sup> Orientador: Prof. Dr. Marco Aurélio Carbone Carneiro. EA-UFG.  
Co-orientador: Dr. Dimas Vital Siqueira Resck. Embrapa Cerrados.

## GENERAL ABSTRACT

FIGUEIREDO, C. C. **Soil organic matter pools under management systems and natural Cerrado vegetation**. 2009. 100 p. Thesis (Doctor in Agronomy: Soil and Water) – Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2009.<sup>1</sup>

Different soil organic matter pools under management systems and natural Cerrado vegetation were studied. These pools were estimated using their carbon and nitrogen contents. Total soil organic carbon and total nitrogen (COT and NT), carbon and nitrogen of particulate organic matter (COP and NP), mineral-associated organic carbon and nitrogen (COM and NM), particulate organic carbon associated with different aggregates size classes (COPA), microbial biomass carbon and nitrogen contents (CBM and NBM) and their relations, and basal respiration as a measure of microbial activity, were determined in this study. Eight treatments were used: seven soil management systems and an undisturbed area of Savanna type vegetation, Cerrado, as a reference. They were: heavy disk harrow and legume species cultivation during twelve years (GP); disk plow and legume species cultivation during twelve years (AD); minimum tillage with chisel plow starting five years after installing the experiment (ESC); no-tillage with biennial crop rotation: grass and legume species as cover crop (PD1); no-tillage with crop rotation and annual cover crops (PD2), no-tillage with annual crop rotation of grass and legume species (PD3), permanent pasture (PAST) and natural savanna vegetation, cerrado (CER). The experiment was established in a randomized blocks design with three replicates to study soil tillage and crop rotation dynamics, with temporal and spatial alternation. Soil samples were taken at five depths: 0-5, 5-10, 10-20, 20-30 and 30-40 cm. Soil samples were collected in February, 2008, at soybean flowering stage. The soil management systems cause changes on soil organic carbon contents mainly on particulate organic matter (> 53 µm) and microbial biomass fractions as compared to the Cerrado vegetation. The annual use of plow discs to soil tillage causes increase of associated minerals-organic matter levels. In soil and climatic conditions of Cerrado, the use of no-till system preceded by soil chemical and structural correction has promote a more uniform distribution of particulate organic matter in the profile. The microbial biomass is responsive to changes caused by different soil management systems in the Cerrado.

*Key words:* fractionation, particulate organic matter, aggregates, no-till, pasture, microbial biomass, basal respiration.

---

<sup>1</sup> Adviser: Prof. Dr. Marco Aurélio Carbone Carneiro. EA-UFG.  
Co-adviser: Dr. Dimas Vital Siqueira Resck. Embrapa Cerrados.

# 1 INTRODUÇÃO GERAL

A região do Cerrado brasileiro abrange 204 milhões de hectares, representando aproximadamente 4% da região tropical mundial, sendo considerada a savana de maior biodiversidade vegetal do mundo (Resck et al., 2008a). É um dos grandes espaços geográficos brasileiros que se constitui em domínio morfoclimático e fitogeográfico, assim denominado por ser um só ambiente na América do Sul, porém com faixas de transição mais ou menos amplas dentro desse espaço ocupado (Ab'Saber, 2003).

Em levantamento recente, foram identificados no Cerrado 80 milhões de hectares sob diferentes usos da terra, o que corresponde a 39,5% da área total do bioma. As duas classes mais representativas de uso da terra, as pastagens cultivadas e as culturas agrícolas, ocupam 26,5% e 10,5% do Cerrado, respectivamente. Cerca de 61% da área do bioma encontra-se preservada, incluindo-se áreas com vegetação em regeneração e pastagens nativas (Sano et al., 2008).

É conhecida a importância mundial do Cerrado como produtor de grãos, especialmente soja (Spehar, 2008). Com base em dados do censo agropecuário brasileiro (IBGE, 2006), Resck et al. (2008a) apontam um crescimento de 35% na área ocupada com lavouras de 1990 para 2006. Além do avanço da área agrícola, o rendimento das culturas no Cerrado, que é superior ao verificado para o Brasil, destaca esse Domínio como um grande produtor agrícola. Entretanto, a distribuição das áreas produtoras dentro do Domínio é, espacialmente, bastante heterogênea, com grandes concentrações de fazendas em microrregiões específicas (Sano et al., 2008), que fazem uso intensivo do solo.

Em especial nas regiões de uso intensivo do solo, a transformação, nas últimas décadas, de áreas nativas do Cerrado em áreas de atividades agrossilvipastoris foi acompanhada do uso indiscriminado de diversos implementos de preparo do solo, sobretudo a grade pesada e o arado de discos, a fim de melhorar a fertilidade do solo, pela correção da acidez, para o fornecimento adequado de água e nutrientes necessários ao desenvolvimento das plantas. Os solos no domínio Cerrado têm apresentado as conseqüências do uso inadequado desses implementos, principalmente relacionadas à diminuição dos teores de matéria orgânica (MO).

Diversos trabalhos sobre o conteúdo e os estoques de matéria orgânica de solos no Cerrado têm demonstrado que o carbono desses solos é afetado pelos diferentes sistemas de manejo (Jantalia et al., 2007; Ferreira et al., 2007; Resck et al., 2008b) e pelas culturas adotadas (Bayer et al., 2004). De maneira geral, os estoques de matéria orgânica nesses solos apresentam rápida queda quando o solo é submetido a sistemas de preparo com intenso revolvimento (Silva et al., 1994; Perez et al., 2005; Resck et al., 2008a). Essa perda de MO reflete-se negativamente na capacidade de troca de cátions (Silva et al., 1994), na agregação do solo (Salton et al., 2008) e nas emissões de gases de efeito estufa (Lal, 2006), alterando as boas propriedades físicas que o solo apresenta sob condições naturais, como a macroagregação, a porosidade e a infiltração da água (Resck et al., 2008b).

Apesar de sua pequena participação no volume total do solo, a MO é componente-chave para a sustentabilidade de ecossistemas nativos e manejados, especialmente nos trópicos. Devido a essa importância, inúmeros trabalhos procuram determinar as alterações dos estoques de matéria orgânica na mudança de áreas nativas para agrícolas e entre sistemas de manejo. Essas determinações são frequentemente realizadas pela quantificação dos estoques de carbono orgânico total do solo (Corazza et al., 1999; Lal, 2006; Jantalia et al., 2007).

Alterações na MO podem não ser verificadas quando medidas pelo carbono orgânico total do solo, dependendo dos aportes de carbono no solo (Roscoe & Buurman, 2003). O estudo de frações da matéria orgânica, com tempo de ciclagem e formas de proteção diferentes, tem sido usado para melhor detectar a dinâmica da matéria orgânica em solos sob diferentes sistemas de manejo (Figueiredo et al., 2007; Ferreira et al., 2007; Carneiro et al., 2008; Sá & Lal, 2009; Carneiro et al., 2009). Entre essas frações, as mais lábeis – como a matéria orgânica particulada – e ativas – como a biomassa microbiana – apresentam-se como as mais sensíveis para verificar mudanças na matéria orgânica em função do uso do solo (Cambardella & Elliot, 1992; Freixo et al., 2002a; Conceição et al., 2005; Ashagrie et al., 2007; Vieira et al., 2007).

Nesse contexto, o estudo da matéria orgânica por meio de suas frações pode contribuir para o entendimento dos impactos dos sistemas de manejo do solo no Cerrado, melhorando, assim, a utilização dos recursos naturais desse importante bioma. Diante disso, como hipótese do trabalho, os sistemas de manejo do solo associados à intensidade de aporte de carbono alteram: os teores de carbono e nitrogênio da matéria orgânica

particulada e associada aos minerais; a distribuição de frações da matéria orgânica no perfil; as quantidades de carbono orgânico particulado e associado aos minerais em diferentes classes de agregados do solo; e a biomassa microbiana do solo no Cerrado. Para isso, o objetivo deste trabalho foi estudar o efeito de diferentes sistemas de manejo do solo e de uma área sob vegetação natural de Cerrado no conteúdo de carbono total, e na fração particulada e na fração associada aos minerais da matéria orgânica, bem como na biomassa e na atividade microbiana do solo.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 ESTOQUES DE CARBONO E A IMPORTÂNCIA DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO PARA SOLOS DA REGIÃO TROPICAL

A matéria orgânica do solo (MOS) é constituída basicamente por C, H, O, N, S e P, sendo que o C compreende cerca de 58% da MOS (Stevenson & Cole, 1999). Devido à grande participação do carbono (C) na constituição dos materiais orgânicos, a dinâmica da MOS está diretamente relacionada ao ciclo do C, de forma que os estudos sobre caracterização, dinâmica e funções da MOS são realizados, principalmente, por meio do carbono.

A importância da MOS é abrangente, assim como sua constituição. Sua atuação influencia tanto na melhoria de condições físicas (aeração, maior retenção e armazenamento de água) quanto nas propriedades químicas e físico-químicas, bem como no fornecimento de nutrientes às plantas e na maior capacidade de troca catiônica do solo (CTC). Proporciona também um ambiente adequado ao estabelecimento e à atividade da microbiota.

Para entender a importância da MOS, exige-se conhecimento dos diferentes compartimentos do carbono em termos globais. De acordo com Lal (2004), o C está armazenado nos seguintes compartimentos: oceânico (38.000 Pg); geológico (5.000 Pg); biosfera, que corresponde ao solo (2.500 Pg) + biota terrestre (620 Pg); e atmosférico (760 Pg). Esses valores expressam a importância da MOS para os ecossistemas terrestres.

Uma média dos reservatórios de C no Cerrado é estimada em 29 Mg ha<sup>-1</sup> na vegetação e 117 Mg ha<sup>-1</sup> no solo (até 1 m de profundidade) (Lal, 2008). Esses valores variam muito em função da grande diversidade de solos, vegetação e condições locais específicas. Os estoques de C do solo no Cerrado encontrados por Bustamante et al. (2006) variaram de 87 a 210 Mg ha<sup>-1</sup>.

Os sistemas de manejo alteram os estoques de C. Uma média de C em solo sob sistemas de manejo foi de 56,6 Mg ha<sup>-1</sup>, enquanto que, no cerrado nativo, o estoque foi de



68,4 Mg ha<sup>-1</sup> (até 30 cm de profundidade) (Jantalia et al., 2007). Marchão et al. (2008) encontraram diferenças nos estoques de C em solo sob diferentes usos conforme a forma de determinação desses estoques, principalmente pela influência da densidade do solo.

A MOS tem importância primária na manutenção do equilíbrio dos estoques de carbono nos ecossistemas terrestres e nas suas relações com as demais esferas fundamentais (atmosfera, hidrosfera e litosfera). Mudanças nos estoques de C do solo podem levar a alterações significativas nos teores de C-CO<sub>2</sub> na atmosfera, que está, também, intimamente relacionada com os processos que ocorrem na biosfera e na hidrosfera (Lal, 2008).

Além de sua importância ambiental, através do ciclo do carbono, a MOS tem importância direta ou indireta nas atividades agrícolas, principalmente em solos da região tropical, caracterizados por elevado grau de intemperismo. Nesses solos, entre outras contribuições, a MOS exerce influência em propriedades químicas e físicas do solo, como: na CTC (Rein & Duxbury, 2008); na agregação (Salton et al., 2008); na retenção de água; e no fornecimento de nutrientes (Silva & Resck, 1997).

### **2.1.1 Influência da matéria orgânica do solo na capacidade de troca catiônica**

Há muito tempo é reconhecida a importância da MOS para a capacidade de troca catiônica (CTC) dos solos, contribuindo com 20% a 90% da CTC das camadas superficiais de solos minerais e, praticamente, toda a CTC de solos orgânicos (Silva & Mendonça, 2007; Sá et al., 2008). A maior porção da CTC dos solos das regiões tropicais, incluindo os solos sob vegetação de Cerrado, é proveniente da contribuição da MOS, por ionização de grupos carboxílicos, enólicos e fenólicos, devido a aumento no pH do solo (Silva & Resck, 1997).

Considerando-se os valores de CTC de alguns minerais de argila e da MOS, organizados por Bohn et al. (1979), verifica-se a grande contribuição da MOS na geração de cargas. Comparativamente à caulinita, mineral de grande expressão nos solos do Cerrado, a MOS pode apresentar, em média, 40 vezes mais cargas.

Ciotta et al. (2003), em estudo sobre a contribuição da MOS na CTC em plantio direto e preparo convencional, concluíram que, apesar de pequeno, o acúmulo de matéria orgânica na superfície do solo em plantio direto resultou em importante aumento nos valores de CTC efetiva e CTC a pH 7,0 até 8 cm de profundidade, em comparação ao

preparo convencional. Nas camadas 0-2, 2-4, 4-6 e 6-8 cm, o aumento da CTC efetiva variou de 85% a 17%, e na CTC a pH 7,0, de 31% a 15%, sendo os maiores incrementos verificados nas camadas superficiais do solo. Na camada 0-8 cm, ocorreu um aumento médio de 15,2 mmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> na CTC efetiva e de 20,7 mmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> na CTC a pH 7,0, o que representou aumentos relativos de 44% e 21%, respectivamente.

Para solos tropicais, Mendonça & Rowell (1996) apresentam uma equação de regressão que expressa bem as contribuições relativas de carbono orgânico total (COT) e da fração argila para a CTC de Latossolos do domínio Cerrado. Na equação, o COT é 121 vezes mais importante que a fração argila como responsável pela CTC do solo.

### **2.1.2 Matéria orgânica e a agregação do solo**

O processo de agregação do solo é bastante complexo e envolve a ação de componentes abióticos: tamanho das partículas, quantidade de silte e areia, regime hídrico, presença de óxidos e sesquióxidos de ferro e alumínio, quantidades e qualidades de argilas, presença de sílica e compostos orgânicos, como substâncias húmicas e polissacarídeos, além dos componentes bióticos, como a pedobiota (animais e microrganismos) e a vegetação, especialmente as raízes (Baldock, 2002).

Alguns modelos são propostos para descrever a maneira pela qual as partículas individuais se organizam em conjunto com os agentes de formação e estabilização dos agregados, para formar agregados estáveis em água. Todos os modelos consideram a presença da matéria orgânica fundamental para as ligações.

Numa das primeiras explicações para o processo de formação de agregados, Emerson (1959) sugeriu que cristais paralelos de argila (cerca de 5 μm de diâmetro) estão agrupados firmemente juntos, o suficiente para se comportarem em água como uma unidade chamada domínio, como resultado da orientação e da mútua atração eletrostática. O autor mostra, ainda, que a matéria orgânica estabiliza o agregado, principalmente pela formação e fortalecimento das ligações entre domínios e entre partículas de quartzo e domínios, embora as partículas de quartzo possam ser também ligadas diretamente pela matéria orgânica.

Posteriormente, Edwards & Bremner (1967) sugeriram que macroagregados (maiores que 0,25 mm de diâmetro) consistem de complexos de argilas-metal polivalente-

matéria orgânica (A-M-MO), sendo a argila ligada à matéria orgânica humificada por metais polivalentes. Partículas de A-M-MO e  $(A-M-MO)_x$ , ambas menores que 0,002 mm de diâmetro, formam microagregados  $((A-M-MO)_x)_y$ , que são menores que 0,25 mm de diâmetro. Ligações de A-M-A e MO-M-MO, bem como de óxidos de alumínio e ferro ou ligações de hidrogênio também podem ocorrer. Os mesmos autores sugeriram, ainda, que fragmentos de matéria orgânica humificada podem ser ligados a uma única partícula mineral e que um único fragmento de matéria orgânica humificada pode ser ligado a mais de uma partícula mineral.

Tisdall & Oades (1982), com base em ampla revisão, explicam a formação das diferentes classes de agregados do solo, utilizando os conceitos de agentes ligantes. Quanto à natureza, os agentes ligantes orgânicos envolvidos na estabilidade de agregados podem ser considerados em três grupos principais, baseados na idade e na degradação da matéria orgânica e não em proporções de componentes quimicamente definidos. Os vários agentes de ligação determinam idade, tamanho e estabilidade de agregados. Os três grupos de agentes de ligação orgânicos considerados são: transitórios (materiais orgânicos rapidamente decompostos por microrganismos); temporários (raízes e hifas, particularmente hifas micorrízicas) e persistentes (constituem-se de material húmico aromático associado à fração mineral).

Baseados nos conceitos de agentes orgânicos de ligação, Tisdall & Oades (1982) explicam a formação das diferentes classes de agregados: a) agregados maiores que 2,0 mm (partículas apoiadas por raízes e hifas); b) agregados entre 0,02 e 0,25 mm (são estáveis após rápido umedecimento e não são destruídos pelas práticas agrícolas); c) agregados entre 0,002 e 0,02 mm (constituídos de partículas menores que 0,002 mm, ligadas fortemente por ligantes orgânicos persistentes, que não são destruídos pelas práticas agrícolas); d) agregados menores que 0,002 mm (são freqüentemente flóculos de argilas individuais).

De acordo com Silva & Mendonça (2007), esses modelos são aplicáveis a solos de regiões temperadas. Ao comentarem o modelo de Tisdall & Oades (1982), explicam que, em solos mais jovens, com mineralogia dominada por argilas 2:1, a formação dos agregados é um processo mais biológico, enquanto que, nos solos mais intemperizados, com a fração argila dominada por argilas 1:1 e oxihidróxidos, esse processo é mais dependente de interações físico-químicas. Dessa forma, evidencia-se que, nessas condições, a formação de microagregados nos solos tropicais é favorecida com menor

dependência da MOS, em comparação àquelas de clima temperado.

Há, entretanto, muitos trabalhos que ressaltam a importância da MOS na agregação e, conseqüentemente, na proteção do carbono no solo. Essas relações são explicadas a partir da evolução das metodologias, que possibilitaram identificar e associar diferentes frações da MOS com as diferentes classes de agregados. Costa et al. (2004) verificaram contribuições diferenciadas do carbono orgânico total e do carbono orgânico particulado (mais lábil) na formação de agregados do solo. Esta constatação reflete a necessidade de se estudar o fracionamento da matéria orgânica para aumentar a compreensão de sua função na melhoria da estruturação do solo e, conseqüentemente, nos processos decorrentes dessa melhoria.

### **2.1.3 Matéria orgânica e ciclagem de nutrientes**

Um ambiente florestal sem interferência antrópica é um bom exemplo da importância da matéria orgânica na ciclagem de nutrientes e, conseqüentemente, na sustentação da cobertura vegetal. Nesse ambiente, todos os nutrientes essenciais necessários ao crescimento vegetal são oriundos da MOS, com complemento do ar atmosférico.

Os restos vegetais adicionados aos solos, controlados por diversos fatores bióticos (tipo de material orgânico, macrofauna e biomassa microbiana) e abióticos (temperatura e umidade), são decompostos e, através da mineralização, disponibilizados para as plantas (Silva & Resck, 1997; Moreira & Siqueira, 2002).

Os nutrientes essenciais podem estar ligados à MOS de diversas formas, como constituintes dos polímeros orgânicos ou como ligantes da MOS com os minerais. Entre os nutrientes essenciais, N, P e S apresentam forte dependência da MOS para serem disponibilizados para as plantas.

Aproximadamente 95% do N do solo está associado à matéria orgânica (Silva & Mendonça, 2007). Todos os processos ligados ao ciclo do N no componente solo são dependentes da matéria orgânica viva. Os microrganismos do solo controlam as principais rotas do N no solo, seja pela imobilização, seja pela mineralização.

## 2.2 COMPARTIMENTOS, FRAÇÕES E CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

### 2.2.1 Modelos conceituais de compartimentos e frações da matéria orgânica do solo

As frações orgânicas do solo podem ser arbitrariamente estabelecidas com base em critérios de localização, composição química ou grau de estabilidade do material orgânico (Baldock & Nelson, 2000). Alguns modelos têm sido apresentados com o objetivo de separar os diversos componentes da MOS (Woomer et al., 1994; Duxbury et al., 1989).

O modelo conceitual de Duxbury et al. (1989) considera as partes da MOS como reservatórios protegidos (física e quimicamente protegidos) e não protegidos (LÁBIL e BIO). O reservatório BIO, também conhecido como ATIVO, é constituído pela fauna e pela flora microbiana do solo. Sua persistência em solos de regiões tropicais é mais curta do que de regiões temperadas. Já o reservatório LÁBIL é constituído de materiais prontamente disponíveis para a decomposição por ataque microbiano. Os reservatórios física (COP) e quimicamente protegidos (COM) são dotados de mecanismos de proteção contra a decomposição microbiana.

Baldock (2002) também apresenta uma divisão dos diferentes componentes da MOS. Trata-se de um modelo estático, cuja diferenciação da composição dos componentes orgânicos é baseada em padrões biológicos, na composição química, ou, ainda, em mistura de composição química e características físicas. Assim, pode-se afirmar que a divisão é abrangente e didática. São dois os principais componentes da MOS apresentados pelo autor: matéria orgânica viva e morta. A primeira é subdividida em fitomassa (tecidos vivos de origem vegetal), biomassa microbiana (materiais orgânicos associados a microrganismos vivos do solo) e biomassa da fauna do solo (materiais orgânicos associados à fauna viva do solo). A segunda é composta por matéria orgânica dissolvida (materiais orgânicos em solução com um diâmetro esférico  $< 0,45 \mu\text{m}$ ) e matéria orgânica particulada (fragmentos orgânicos com estruturas celulares reconhecíveis). Nesta categoria, são incluídos materiais da liteira (localizados na superfície do solo e desprovidos de partículas minerais), matéria macrorgânica (fragmentos de material orgânico  $> 53 \mu\text{m}$  de diâmetro) e da fração leve (materiais orgânicos separados do solo por flotação). Ainda

nesta categoria, Baldock (2002) inclui o húmus (biomoléculas alteradas e inalteradas) e a matéria orgânica inerte (altamente carbonizada, carvão).

Diekow (2003), por meio de informações oriundas de diferentes autores, resumiu os diferentes tipos de frações da matéria orgânica em três grupos: a) frações com base na localização da matéria orgânica (particulada, associada aos minerais, dissolvida, inerte e biomassa microbiana); b) frações com base na composição química da matéria orgânica (biomoléculas com estruturas moleculares e substâncias húmicas com estrutura molecular); c) frações com base no grau de estabilidade da matéria orgânica.

A partir da combinação das frações baseadas na localização com as frações baseadas na composição química, pode-se estabelecer um terceiro grupo de frações orgânicas, com base no grau de estabilidade que estas possuem ao ataque microbiano (Baldock & Skjemstad, 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 (MOP). São exemplos de fração estável as substâncias húmicas associadas aos minerais, cujos compostos apresentam recalcitrância molecular e atuam na proteção coloidal.

Ainda de acordo com esse modelo, de forma mais complexa, cinco frações podem ser estabelecidas, em que o grau de estabilidade é expresso pelo seu tempo de meia vida ( $t/2$ ). Assim, tem-se:

- Compartimento metabólico ( $t/2 = 0,5$  ano): biomoléculas (proteínas, lipídios, amido e ácidos nucleicos) também presentes na MOP e no resíduo superficial.
- Compartimento ativo ( $t/2 = 1,5$  anos): biomoléculas constituintes de estruturas celulares e metabólitos da biomassa microbiana.
- Compartimento estrutural ( $t/2 = 3$  anos): biomoléculas (celulose, hemicelulose e lignina) presentes principalmente na MOP e resíduo superficial.
- Compartimento lento ( $t/2 = 25$  anos): biomoléculas associadas a minerais; biomoléculas da MOP protegida por microagregados.
- Compartimento passivo ( $t/2 = 1000$  anos): substâncias húmicas associadas a minerais de argila e protegidas fisicamente.

Esses mecanismos de separação dos componentes orgânicos do solo têm sido aperfeiçoados para atender ao crescente uso de modelos de simulação aplicados ao estudo da MOS (Sohi et al., 2001; Gjettermann et al., 2008). No modelo Century (Parton et al.,

1987), por exemplo, a matéria orgânica é subdividida em sete compartimentos, baseados na qualidade do material e no seu tempo de reciclagem.

### **2.2.2 Fracionamento da matéria orgânica do solo**

Devido à complexidade química e às suas interações com as partículas minerais, diversas técnicas têm sido desenvolvidas para buscar entender as funções dos diferentes compartimentos da MOS. De acordo com Stevenson & Cole (1999), a compreensão dos compartimentos da MOS é antiga, mas os métodos para definir e quantificar esses compartimentos são relativamente recentes, com a maioria das pesquisas sendo realizadas nas últimas duas décadas.

De maneira geral, as técnicas de fracionamento da MOS são: fracionamento químico e fracionamento físico. O primeiro pode ser empregado para avaliar os teores de C nas diferentes frações húmicas presentes no solo, já que se baseia na diferença de solubilidade dessas frações em meios ácido e básico. As substâncias húmicas (humina, ácido húmico e ácido fúlvico) representam mais de 70% do carbono presente no solo e são diferenciadas uma das outras pela cor, massa molecular, presença de grupos funcionais (carboxílicos, fenólicos, entre outros) e grau de polimerização (Schnitzer, 1978).

O interesse no fracionamento físico da MOS nasceu da observação de que o tempo de reciclagem dos nutrientes depende não apenas do tipo e da quantidade da matéria orgânica no solo, mas da sua localização dentro do perfil do solo (Stevenson & Cole, 1999), haja vista que a localização da MOS tem impacto nas propriedades físicas do solo.

De acordo com Stevenson & Cole (1999), o fracionamento físico tem sido usado nos seguintes tipos de estudos: 1) recuperar a fração leve que consiste de restos vegetais não decompostos e seus produtos em decomposição parcial; 2) estabelecer a natureza e a significância biológica da matéria orgânica nas frações do solo dos diferentes tamanhos; e 3) determinar os tipos de matéria orgânica envolvidos na formação de agregados estáveis em água.

Roscoe & Machado (2002), após ampla revisão sobre os fracionamentos físicos da MOS, dividiram em dois os tipos de fracionamento físico: o densimétrico e o granulométrico.

No método densimétrico, são utilizados sais (principalmente iodeto e politungstato de sódio), com densidade variando de 1,5 a 2,0 g cm<sup>-3</sup>. O princípio do

método baseia-se na separação de materiais orgânicos (densidade menores que  $1,5 \text{ g cm}^{-3}$ ) e minerais (densidades superiores a  $2,0 \text{ g cm}^{-3}$ ), considerando-se, portanto, diferenças de densidade. Dessa forma, a matéria orgânica pode ser dividida nas frações leve (FL) e pesada (FP) (associada aos minerais). A FL pode ainda ser subdividida em FL livre e FL oclusa – dentro dos agregados (Roscoe & Machado, 2002). Dependendo da metodologia, essa fração leve pode ser classificada como matéria orgânica particulada (MOP), normalmente determinada pelo teor de carbono particulado (COP) (Cambardella & Elliot, 1993; Costa et al., 2004; Zotarelli et al., 2007; Sá & Lal, 2009).

No método granulométrico, utilizado por Roscoe & Buurman (2003), conforme o grau de associação com a matriz do solo, a MOS pode estar livre ou fracamente associada às partículas de solo, sendo chamada de matéria orgânica não-complexada (MONC); ou estar fortemente ligada às partículas minerais, formando complexos organo-minerais (COM). Diferentemente do método densimétrico, neste, o fracionamento é realizado com base no tamanho das partículas.

Cambardella & Elliott (1992) separaram a matéria orgânica por fracionamento físico granulométrico e consideraram duas frações básicas da MOS. Após dispersão e passagem em peneira de  $53 \mu\text{m}$ , separou-se a MOP ( $> 53 \mu\text{m}$ ) daquela de tamanho de silte e argila ( $< 53 \mu\text{m}$ ). A primeira fração é constituída por materiais que ainda apresentam tecidos intactos, como pedaços de folhas e raízes, apresentando tempo de reciclagem mais rápido do que a menor que  $53 \mu\text{m}$ . A fração do tamanho silte e argila é denominada associada aos minerais e, portanto, apresenta formas de proteção que proporcionam tempo de reciclagem muito lento. Devido à facilidade de determinação, diversos trabalhos foram realizados pelo uso exclusivo desta técnica (Bayer et al., 2004; Conceição et al., 2005; Scharenbroch & Lloyd, 2006; Sá & Lal, 2009) ou pelo uso conjugado com o fracionamento densimétrico (Xavier et al., 2006; Rangel & Silva, 2007; Silva et al., 2007; Vieira et al., 2007; Portugal et al., 2008) para estudo da MO em diferentes regiões e solos.

Tanto o fracionamento químico quanto o físico foram desenvolvidos para identificação e estabelecimento dos diferentes compartimentos da MOS e suas funções nos mecanismos químicos, físicos e biológicos do solo. A partir dessa identificação, é possível avaliar, por exemplo, os impactos do manejo nas propriedades do solo.



### **2.2.3 Frações lábeis e estáveis da matéria orgânica em solos do Cerrado**

A matéria orgânica é um componente-chave, determinante para as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, particularmente em solos intemperizados, com argilas de baixa atividade, como é o caso dos Latossolos, que abrangem 95 milhões de hectares do Cerrado, aproximadamente, 46% a 48% da área total (Rein & Duxbury, 2008). Nesses Latossolos, diversos trabalhos têm mostrado que a principal fonte de cargas negativas é a MOS, associada aos minerais nas frações silte e argila (Zinn et al., 2005). Essa expressiva associação da MOS aos minerais de argila tem sido suficiente para explicar, com base apenas nos teores de carbono orgânico total, os estoques e a dinâmica da matéria orgânica em solos do Cerrado.

Apesar da importância da determinação das frações da MOS, ainda são poucos os trabalhos com fracionamento físico em solos do Cerrado. Entre eles, Marchetti (2005) verificou diferentes contribuições das frações da matéria orgânica em estudo sobre a caracterização dos compartimentos orgânicos de carbono de solo sob plantio direto no Cerrado. Em todas as profundidades analisadas, a fração carbono orgânico associado aos minerais foi superior ao compartimento carbono orgânico particulado.

De acordo com Resck et al. (2008b), manejo do solo é conceituado como todas as operações efetuadas no processo de incorporação de novas áreas ao sistema de produção, respeitando a legislação ambiental vigente, incluindo a correção da acidez superficial e subsuperficial, a adubação de manutenção, a dinâmica de sistemas de preparo do solo e de rotação de culturas, incluindo-se, as práticas culturais, a pastagem e a floresta. Dessa forma, evitam-se ou diminuem-se consideravelmente as emissões de gás carbônico para a atmosfera, contribuindo, assim, para a sustentabilidade das atividades agrícolas.

Constatação semelhante à de Marchetti (2005) foi feita por Bayer et al. (2004) e por Freixo et al. (2002a) para Latossolo no Cerrado, e por Freixo et al. (2002b) para solos do Sul do Brasil. Deve-se ressaltar, todavia, que no trabalho de Bayer et al. (2004), enquanto o estoque de carbono na matéria orgânica associada aos minerais não foi afetado pelos sistemas de manejo nas diferentes camadas do solo, o acúmulo de carbono orgânico em plantio direto ocorreu preferencialmente na matéria orgânica particulada, que, segundo os autores, é mais sensível às alterações no manejo do solo que o carbono orgânico total. Os autores afirmam, ainda, que o não-efeito dos sistemas de manejo na matéria orgânica

associada aos minerais explica-se pelo fato de esta apresentar avançado estágio de humificação e ser altamente estável, devido à interação com a fração mineral do solo, à localização no interior dos microagregados, além da maior recalcitrância química decorrente da sua composição.

Freixo et al. (2002a), em trabalho com diferentes sistemas de manejo do solo no Cerrado, encontraram que o carbono na forma de fração pesada representou mais de 80% da matéria orgânica em solos cultivados, sendo pouco modificado pelas práticas de manejo adotadas nos diferentes sistemas de cultivo estudados.

Freitas et al. (2000), em estudo com fracionamento granulométrico da matéria orgânica em Latossolo no Cerrado, concluíram que esta técnica permite precisar o efeito de diferentes sistemas de uso e manejo em solos de características edafoclimáticas semelhantes. Verificaram, ainda, que o sistema de plantio direto possibilita maior estocagem de C no compartimento lábil dos resíduos vegetais, enquanto que a incorporação dos resíduos no sistema de preparo convencional do solo favorece a estocagem de C no compartimento fisicamente protegido, organo-argiloso (fração estável).

Além dos sistemas de preparo do solo, a rotação de culturas promove alterações na dinâmica da MOS do solo. Os restos culturais de diferentes espécies cultivadas promovem quantidades e tempo de permanência diferenciados. São os efeitos dos sistemas de preparo e de rotação de culturas e a interação desses que promovem o estoque ou a liberação da MOS (Bayer et al., 2004). Essas alterações nos estoques de MOS passam necessariamente por alterações nos agregados, que são a principal forma de armazenamento de carbono no solo. Nesse sentido, diversos trabalhos realizados em solos no domínio Cerrado têm demonstrado o efeito dos sistemas de manejo nos estoques e na dinâmica da MOS por meio da proteção realizada por agregados.

Em solos do Cerrado de Mato Grosso do Sul, sob integração lavoura-pecuária, Salton et al. (2005) constataram que o tamanho dos agregados estáveis em água, avaliados pelo diâmetro médio ponderado (DMP), apresentou boa relação com o conteúdo de C na fração associada aos minerais do solo, na qual se verificou que, para cada aumento de 1mm no tamanho médio dos agregados, houve um aumento médio de 3,1 a 4,4 Mg C ha<sup>-1</sup> na fração associada aos minerais, o que permite quantificar a importância da agregação na proteção da MOS.

Ainda nesse trabalho, os autores deram importante contribuição para o entendimento da hierarquia de formação de agregados idealizada por Tisdall & Oades

(1982). Segundo eles, o solo que constitui os agregados grandes é proveniente dos microagregados, pois, enquanto os sistemas apenas com lavouras apresentam 48% do solo em agregados menores que 0,5 mm, os sistemas com pastagem possuem apenas 25% (pastagem) e 28,6% (lavoura- pastagem ) nesta classe de tamanho com maiores porcentagens nas classes maiores. Torna-se evidente o efeito da pastagem em aumentar a quantidade de massa do solo organizada em agregados grandes.

Em Latossolo sob condições subtropicais do Sul do Brasil, Costa et al. (2004) verificaram que o carbono orgânico particulado (COP) foi mais sensível às mudanças de manejo do que o carbono orgânico total (COT). Nesse estudo, para cada aumento de uma unidade no COP, verificou-se aumento de 0,35 unidade no diâmetro médio geométrico dos agregados, enquanto que a mesma variação no COT resultou numa variação positiva de apenas 0,19 unidade.

Alterações nos teores de carbono na fração leve foram verificadas tanto em Latossolo Vermelho quanto em Neossolo Quartzarênico localizados no Cerrado (Carneiro et al., 2009). Nesse trabalho, todos os sistemas de manejo estudados, que incluem sistemas sob plantio direto e convencional e sob pastagem, consorciada ou não, promoveram redução nos teores de C na fração leve, mais lábil, da MOS.

O entendimento da forma de armazenamento da MOS é fundamental para a adoção de manejos adequados. Nessa perspectiva, os sistemas de manejo de solos tropicais, como os do Cerrado, devem promover o aumento ou a manutenção dos estoques de carbono.

### 2.3 BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO: FRAÇÃO VIVA E DINÂMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

A biomassa microbiana (BM) é a fração viva da MOS, composta por bactérias, fungos, actinomicetos, protozoários e algas. Apesar de representar pequena porção do carbono total, exerce função indispensável para que as demais frações possam ser recicladas e/ou imobilizadas temporariamente. É considerada a principal responsável pela decomposição dos resíduos orgânicos, pela ciclagem de nutrientes e pelo fluxo de energia dentro do solo (Jenkinson et al., 2004). Exerce sua influência tanto na transformação da matéria orgânica quanto na estocagem do carbono e de nutrientes minerais, ou seja, na liberação e na imobilização de nutrientes na maior parte dos ecossistemas terrestres

(Jenkinson & Ladd, 1981; Jenkinson et al., 2004; De-polli & Guerra, 2008).

Por estarem relacionadas aos microrganismos do solo que representam a parte viva e mais ativa da matéria orgânica, as variáveis biológicas e bioquímicas do solo respondem mais rapidamente a alterações ocorridas no solo (Powlson & Jenkinson, 1981; Figueiredo et al., 2007; Ferreira et al., 2007; Carneiro et al., 2008; Sá & Lal, 2009; Carneiro et al., 2009). Variações na BMS em função do preparo do solo podem ocorrer devido às diferenças no acesso ao substrato de C pelos microrganismos e/ou pelas mudanças nos padrões metabólicos ou mesmo devido a alterações na composição da microbiota, ocasionadas pelo preparo do solo e pela espécie vegetal que se está cultivando (Alvarez et al., 1995).

Recentemente, Kemmitt et al. (2008) discordaram da teoria de que a BM regula os processos de mineralização de todas as frações da matéria orgânica. Segundo eles, o processo de mineralização da matéria orgânica humificada (associada aos minerais) é totalmente controlado por fatores abióticos. Nesse estudo, os autores não encontraram relações entre a mineralização da matéria orgânica humificada e o tamanho ou a atividade da BM. Essas informações mudam completamente o paradigma da ação microbiana na mineralização de C e, conseqüentemente, no controle microbiano do ciclo global de carbono. Como essa teoria ainda está sendo questionada pela comunidade científica (Kuzuyakov et al., 2009) e replicada pelos autores (Brookes et al., 2009), há necessidade de maior aprofundamento dos estudos para os devidos esclarecimentos.

Quando o manejo de um solo é alterado, a BM responde mais rapidamente que a MOS (Jenkinson et al., 2004; Sá & Lal, 2009). Dependendo do grau de distúrbio do solo, a resposta da BM na decomposição da matéria orgânica pode apresentar intensidades variadas. A mobilização do solo, por proporcionar aeração e incorporação de resíduos orgânicos, pode elevar a BM em um período curto, mas, a longo prazo, pode ter efeitos negativos sob os teores de MOS. Por este motivo, as determinações de C e N da biomassa microbiana mostram-se parâmetros sensíveis para quantificar as mudanças no preparo do solo (Carter & Rennie, 1982; Sparling, 1992; De-Polli & Guerra, 2008).

Além dos distúrbios causados pelo preparo do solo, outros fatores do cultivo, como adubação nitrogenada (Coser et al., 2007), espécie cultivada (Denef et al., 2009), estágio de desenvolvimento da planta (Silva et al., 2007), podem alterar a BM.

Apesar de crescente nas duas últimas décadas, o número de trabalhos sobre os componentes vivos da matéria orgânica em solos no domínio Cerrado ainda é pequeno.

Desses, a maior parte utiliza exclusivamente a quantificação do carbono da biomassa microbiana do solo (CBM) (Oliveira et al., 1999; Matsuoka et al., 2003; Mendes et al., 2003; Parron et al., 2003; Perez et al., 2005; Ferreira et al., 2007; Carneiro et al., 2008; Carneiro et al., 2009). Entretanto, as determinações de nitrogênio da biomassa microbiana (NBM) e a determinação simultânea de NBM e CBM possibilitam estabelecer a estrutura e o estado da comunidade microbiana (Moore et al., 2000) e explicar melhor as alterações ocasionadas pelo manejo (Figueiredo et al., 2007).

Em diferentes sistemas de manejo do solo, a microbiota recebe estímulos diferenciados, devido à composição dos resíduos das espécies vegetais e aos métodos de preparo de solo. Isso resulta em diferenças na atividade microbiana, na relação imobilização-mineralização do N e nas taxas de decomposição dos resíduos. De acordo com Hernández-Hernández & Hernández (2002), a quantidade e a localização das entradas de resíduos orgânicos no solo afetam o compartimento ativo da MOS. Matsuoka et al. (2003) concluíram que os sistemas de manejo do solo com culturas perenes e anuais reduzem o CBM, em relação a áreas sob vegetação nativa. Os sistemas com menor revolvimento do solo, com manutenção de resíduos vegetais na superfície, aumentam a disponibilidade de substratos nos primeiros centímetros do solo, possibilitando maior concentração de nutrientes na BM (Salinas-Garcia et al., 1997; De-Polli & Guerra, 2008).

Diferenças importantes também são verificadas quando se estuda o NBM nos diferentes sistemas de manejo. Francis et al. (1992) constataram que a mineralização de N ocorre de maneira mais constante sob SPD, enquanto que, sob cultivo convencional, há um elevado fluxo de N logo após o preparo do solo, devido à quebra dos agregados do solo, o que causa a intensificação da atividade microbiológica.

No Cerrado, Fernandes et al. (1999) verificaram que, sob plantio direto, o NBM atingiu  $108 \text{ mg N kg}^{-1}$  solo contra  $58 \text{ mg N kg}^{-1}$  solo sob plantio convencional. Na mesma região, Figueiredo et al. (2007), em estudo com NBM em Latossolo sob diferentes sistemas de manejo, verificaram que o plantio direto apresentou o valor médio de NBM no perfil de 0-40 cm de profundidade superior a todos os sistemas que sofreram aração com dupla incorporação, indicando que há diminuição da BM com o aumento da frequência de revolvimento.

Em estudo sobre a influência da dose de adubo nitrogenado no NBM, em solo cultivado com trigo, Coser et al. (2006) verificaram que o aumento da dose de N não aumentou a imobilização deste nutriente na BM. Esta constatação indica que a dinâmica do

N no solo é complexa e exige estudo de forma mais abrangente, considerando outros indicativos microbiológicos envolvidos nas transformações da matéria orgânica.

Para compreender melhor os estoques de CBM nos diferentes biomas/regiões do Brasil, Roscoe et al. (2006) elaboraram uma lista com os teores médios de CBM na profundidade 0-10 cm de solos de diferentes biomas brasileiros, sob vegetação nativa. Esses dados foram obtidos em trabalhos publicados em diversas revistas científicas de 1992 a 2006. Os solos do Sul apresentaram os maiores teores de CBM (865 mg C kg<sup>-1</sup> solo), sendo 3,52 vezes maiores do que os encontrados na região do semi-árido nordestino. Esses resultados evidenciam as limitações impostas pelas altas temperaturas e escassez de água, entre outros fatores, que contribuem para os baixos teores de CBM em solos de regiões semi-áridas. Os solos da Floresta Amazônica, do Pantanal e do Cerrado apresentaram teores de CBM próximos, variando de 456 a 630 mg C kg<sup>-1</sup> solo.

Outro aspecto importante, já mencionado anteriormente, é a mudança nos estoques de CBM na passagem de vegetação nativa para agroecossistemas. No Cerrado, a queda dos teores de CBM nessas circunstância foi, em média, de 68%, considerando dados compilados por Roscoe et al. (2006). Isso representa o impacto negativo dessa transformação na MOS viva, representada pela BMS. Como consequência, pode-se verificar declínio da capacidade produtiva desses solos, já que os microrganismos constituem o meio para ciclagem de nutrientes e posterior utilização pelas plantas, aumentando assim a dependência por altas doses de adubos minerais, cujas fontes são esgotáveis e cada vez mais dispendiosas.

Teores de CBM em solo sob vegetação nativa de cerrado podem variar entre as diferentes classes de solos. Em Neossolo Quartzarênico, o cerrado nativo apresentou teor de 275 mg C kg<sup>-1</sup> solo, enquanto que, em Latossolo Vermelho, o valor foi de 541 mg C kg<sup>-1</sup> solo (Carneiro et al., 2009).

De acordo com Mendes (2002), o desmatamento e a introdução de cultivo com arado de discos reduzem significativamente os teores de CBM, sendo 17% aos quinze dias (0-20 cm), 43% aos três meses (0-5 cm), atingindo 76% (0-5 cm) um ano após o desmatamento. Esses resultados evidenciam a sensibilidade do CBM às alterações ambientais do solo.

Comparando Latossolo Vermelho argiloso sob cerrado nativo e submetido a diferentes sistemas de manejo, em experimento de longa duração, Ferreira et al. (2007) verificaram que tanto em relação ao manejo, quanto à profundidade e às épocas de

amostragem, o CBM apresentou acentuada dinâmica espacial e temporal, variando na camada 0-40 cm entre 415 mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> solo, sob cerrado nativo, a 116 mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> solo, sob sistema com arado de discos e duplo revolvimento anual.

Carneiro et al. (2008) em estudo com Neossolo Quartzarênico e Latossolo Vermelho, ambos localizados no Cerrado, sob diferentes sistemas de manejo, encontraram grande variação nos atributos microbiológicos e bioquímicos do solo. Essa variação ocorreu entre as classes de solos e entre os sistemas de manejo adotados. De maneira geral, entre os sistemas avaliados, a pastagem proporcionou melhorias nos atributos bioquímicos e microbiológicos estudados.

De maneira geral, verifica-se na literatura uma carência de estudos sobre a constituição, a dinâmica e as funções das frações da MOS sob diferentes sistemas de manejo, particularmente em solos no Domínio Cerrado.

## 2.4 REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003. 159 p.

ALVAREZ, R.; DÍAZ, R. A.; BARBERO, N.; SANTA-NATOGLIA, O. J.; BLOTTA, L. Soil organic carbon, microbial biomass and CO<sub>2</sub>-C production from three tillage systems. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 33, n. 1, p. 17-28, 1995.

ASHAGRIE, Y.; ZECH, W.; GUGGENBERGER, G.; MAMO, T. Soil aggregation, and total and particulate organic matter following conversion of native forests to continuous cultivation in Ethiopia. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 94, n. 1, p. 101-108, 2007.

BALDOCK, J. A. Interactions of organic materials and microorganisms with minerals in the stabilization of soil structure. In: HUANG, P. M.; BOLLAG, J. M.; SENESI, N. (Ed.). **Interactions between soil particles and microorganisms: impacts on the terrestrial ecosystem**. IUPAC Series on analytical and physical chemistry of environmental systems. v. 8, p. 58-132, 2002.

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.

BALDOCK, J. A.; SKJEMSTAD, J. O. Role of the soil matrix and minerals in protecting natural organic materials against biological attack. **Organic Geochemistry**, Oxford, v. 31, n. 7-8, p. 697-710, 2000.

- 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, v. 39, n. 7, p. 677-683, 2004.
- BOHN, H.; McNEAL, B.; O'CONNORS, G. **Soil chemistry**. New York: J. Wiley, 1979. 300 p.
- BROOKES, P. C.; KEMMITT, S. J.; ADDISCOTT, T. M.; BIRD, N. Reply to Kuzyakov et al.'s comments on our paper: 'Kemmitt, S. Lanyon, C. V., Waite, I. S., Wen, Q., O'Donnell, A. G., Brookes, P. C., 2008. Mineralization of native soil organic matter is not regulated by the size, activity or composition of the soil microbial biomass – a new perspective. *Soil Biology and Biochemistry* 40, 61–73'. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 41, n. 2, p. 440-443, 2009.
- BUSTAMANTE, M. M. C.; CORBEELS, M.; SCOPEL, E.; ROSCOE, R. Soil carbon storage and sequestration potential in the cerrado region of Brazil. In: LAL, R.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; ETCHEVES, J.; CERRI, E. **Carbon sequestration in soils of Latin America**. New York: Food Products Press, 2006. p. 285-304.
- CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, n. 3, p. 777-783, 1992.
- CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Methods for physical separation and characterization of soil organic matter fractions. **Geoderma**, Amsterdam, v. 56, n. 1-4, p. 449-457, 1993.
- CARNEIRO, M. A. C.; ASSIS, P. C. R.; MELO, L. B. C.; PEREIRA, H. S.; PAULINO, H. B.; SILVEIRA NETO, A. N. Atributos bioquímicos em dois solos de cerrado sob diferentes sistemas de manejo e uso. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 38, n. 4, p. 276-283, 2008.
- 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**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009.
- CARTER, M. R.; RENNIE, D. A. Changes in soil quality under zero tillage farming systems: distribution of microbial biomass and mineralizable C and N potentials. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 62, n. 4, p. 587-597, 1982.
- CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; ERNANI, P. R.; ALBUQUERQUE, J. A. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 6, p. 1161-1164, 2003.
- CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 777-788, 2005.



CORAZZA, E. J.; SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 425-432, 1999.

COSER, T. R.; RAMOS, M. L. G.; AMABILE, R.; RIBEIRO JÚNIOR, V. Q. Nitrogênio da biomassa microbiana em solo de Cerrado com aplicação de fertilizante nitrogenado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 3, p. 399-406, 2007.

COSTA, F. S.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J. A.; FONTOURA, S. M. V. Aumento de matéria orgânica num Latossolo Bruno em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 2, p. 587-589, 2004.

DENEF, K.; ROOBROECK, D.; LOOTENS, P.; BOECKX, P. Microbial community composition and rhizodeposit-carbon assimilation in differently temperate grassland soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 41, n. 1, p. 144-153, 2009.

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.

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

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.

EDWARDS, A. P.; BREMNER, J. M. Microaggregates in soils. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 18, n. 1, p. 64-73, 1967.

EMERSON, W. W. The structure of soil crumbs. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 10, n. 2, p. 235-244, 1959.

FERNANDES, L. A.; VASCONCELLOS, C. A.; FURTINI NETO, A. E.; ROSCOE, R.; GUEDES, G. A. A. Preparo do solo e adubação nitrogenada na produção de grãos e matéria seca e acúmulo de nutrientes pelo milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 9, p. 1691-1698, 1999.

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**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1625-1635, 2007.

FIGUEIREDO, C. C.; 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**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 551-562, 2007.

FRANCIS, G. S.; HAYNES, R. J.; KNIGHT, T. L. An overview of results from the long-term no-tillage trials at Winchmore. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE AGRONOMY SOCIETY OF NEW ZEALAND, 1992, Camberra. **Proceedings...** Camberra: Agronomy Society of New Zealand, 1992. v. 22, p. 97-101.

FREITAS, P. L.; BLANCANEUX, P.; GAVINELLI, E.; LARRÉ-LARROUY, M.; FELLER, C. Nível e natureza do estoque orgânico de Latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 1, p. 157-170, 2000.

FREIXO, A. A.; MACHADO, P. L. O.; GUIMARAES, 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 de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 425-434, 2002.

FREIXO, A. A.; MACHADO, P. L. O.; SANTOS, H. P.; SILVA, C. A.; FADIGAS, F. S. Soil organic carbon and fractions on a Rhodic Ferralsol under the influence of tillage and crop rotation systems in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 64, n. 2, p. 221-230, 2002.

GJETTERMANN, B.; STYCZEN, M.; HANSEN, H. C. B.; VINTHER, F. P.; HANSEN, S. Challenges in modelling dissolved organic matter dynamics in agricultural soil using DAISY. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 40, n. 6, p. 1506-1518, 2008.

HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, R. M.; HERNÁNDEZ, D. L. Microbial biomass, mineral nitrogen and carbon content in Savanna soil aggregates under conventional and no-tillage. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 34, n. 11, p. 1563-1570, 2002.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção agrícola municipal**. Rio de Janeiro: IBGE, 2006. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo>>. Acesso em: 08 mar. 2008.

JANTALIA, C. P.; RESCK, D. V. S.; ALVES, B. J. R.; ZOTARELLI, L.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Tillage effect on C stocks of a clayey Oxisol under a soybean-based crop rotation in the Brazilian Cerrado region. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 95, n. 1-2, p. 97-109, 2007.

JENKINSON, D. S.; LADD, J. N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: PAUL, E. A.; LADD, J. N. **Soil biochemistry**. New York: Marcel Dekker, 1981. v. 5, p. 415-471.

JENKINSON, D.; BROOKES, P. C.; POWLSON, D. S. Measuring soil microbial biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 36, n. 1, p. 5-7, 2004.

KEMMITT, S. J.; LANYON, C. V.; WAITE, I. S.; WEN, Q.; ADDISCOTT, T. M.; BIRD, N. R. A.; O'DONNELL, A. G.; BROOKES, P. C. Mineralization of native soil organic matter is not regulated by the size, activity or composition of the soil microbial biomass: a new perspective. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 40, n. 1, p. 61-73, 2008.

KUZYAKOV, Y.; BLAGODATSKAYA, E.; BLAGODATSKY, S. Comments on the paper by Kemmitt et al. (2008) 'Mineralization of native soil organic matter is not regulated by the size, activity or composition of the soil microbial biomass – A new perspective' [Soil Biology & Biochemistry 40, 61-73]: The biology of the Regulatory Gate. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 41, n. 2, p. 435-439, 2009.

LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, Amsterdam, v. 123, n. 1-2, p. 1-22, 2004.

LAL, R. Soil carbon sequestration in Latin America. In: LAL, R.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; ETCHEVES, J.; CERRI, E. **Carbon sequestration in soils of Latin America**. New York: Food Products Press, 2006. p. 49-64.

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.

MARCHÃO, R. L.; BECQUER, T.; BRUNET, D.; BALBINO, L. C.; VILELA, L.; BROSSARD, M. Carbon and nitrogen stocks in a Brazilian clayey Oxisol: 13-year effects of integrated crop–livestock management systems. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, 2008. Disponível em: <[www.sciencedirect.com/science/journal/01671987](http://www.sciencedirect.com/science/journal/01671987)>. Acesso em: 10 mar. 2009.

MARCHETTI, A. D. **Caracterização dos compartimentos orgânicos de carbono e atividade microbiológica nos sistemas de cultivo em plantio direto com cobertura vegetal no Cerrado**. 2005. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

MATSUOKA, M.; MENDES, I. C.; LOUREIRO, M. F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 425-443, 2003.

MENDES, I. C.; SOUZA, L. V.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Propriedades biológicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob plantio convencional e direto no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 435-443, 2003.

MENDONÇA, E. S.; ROWELL, D. L. Mineral and organic fractions of two Oxisols and their influence on the effective cation-exchanger capacity. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 60, n. 6, p. 1888-1892, 1996.

MOORE, J. M.; KLOSE, S.; TABATABAI, M. A. Soil microbial biomass carbon and nitrogen as affected by cropping systems. **Biology and Fertility of Soils**, Berlim, v. 31, n. 3-4, p. 200-210, 2000.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2002. 625 p.

OLIVEIRA, J. R. A.; MENDES, I. C.; VILELA, L.; VIVALDI, L.; VARGAS, M. A. T. **Carbono da biomassa microbiana e atividade biológica em solos sob sistemas integrados de culturas anuais e pastagens**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 1999. 3 p. Pesquisa em andamento, n. 35.

PARRON, L. M.; BUSTAMANTE, M. M. C.; PRADO, C. L. C. **Mineralização de nitrogênio e biomassa microbiana em solos de mata de galerias: efeito do gradiente topográfico**, n. 88. Embrapa Cerrados, Planaltina, 2003. 25 p. Boletim de pesquisa.

PARTON, W. J.; SCHIMEL, D. S.; COLE, C. V.; OJIMA, D. S. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in the Great Plains Grasslands. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 51, n. 5, p. 1173-1179, 1987.

PEREZ, K. S. S.; RAMOS, M. L. G.; MCMANUS, C. Nitrogênio da biomassa microbiana em solo cultivado com soja, sob diferentes sistemas de manejo, nos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 2, p. 11-20, 2005.

PORTUGAL, A. F.; JUCKSCH, I.; SCHAEFER, C. E. G. R.; WENDLING, B. Determinação de estoques totais de carbono e nitrogênio e suas frações em sistemas agrícolas implantados em Argissolo Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 2091-2100, 2008.

POWLSON, D. S.; JENKINSON, D. S. A comparison of the organic matter, biomass, adenosine triphosphate and mineralizable nitrogen contents of ploughed and direct-drilled soils. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 97, n. 3, p. 713-721, 1981.

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**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1609-1623, 2007.

REIN, T. A.; DUXBURY, J. M. Modeling the soil organic carbon, texture and mineralogy relations in the profile of oxisols from the Brazilian Cerrado. In: SIMPÓSIO NACIONAL CERRADO E II SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE SAVANAS TROPICAIS, 9., 2008, Brasília. **Anais...** Brasília: Embrapa Cerrados, 2008. 1 CD ROM.

RESCK, D. V. S.; FERREIRA, E. A. B.; FIGUEIREDO, C. C.; ZINN, Y. L. Dinâmica da matéria orgânica no Cerrado. 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, 2008a. p. 359-417.

RESCK, D. V. S.; FERREIRA, E. A. B.; SANTOS JÚNIOR, J. D. G.; SÁ, M. A. C.; FIGUEIREDO, C. C. 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, 2008b. p. 417-473.

ROSCOE, R.; BUURMAN, P. Tillage effects on soil organic matter dynamics in density fractions of a Cerrado Oxisol. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 70, n. 2, p. 107-119, 2003.

- ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 86 p.
- ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; MENDES, I. C.; REIS JÚNIOR, F. B.; SANTOS, J. C. F.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana do solo: fração mais ativa da matéria orgânica. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. p. 163-198.
- SÁ, J. C. M.; LAL, R. Stratification ratio of soil organic matter pools as an indicator of carbon sequestration in a tillage chronosequence on a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 103, n. 1, p. 46-56, 2009.
- SALINAS-GARCIA, J. R.; HONS, F. M.; MATOCHA, J. E. Long-term effects of tillage and fertilization on soil organic matter dynamics. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 61, n. 1, p. 152-159, 1997.
- SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C. **Matéria orgânica do solo na integração lavoura-pecuária em Mato Grosso do Sul**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2005. 58 p. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 29.
- SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRÍCIO, A. A.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 11-21, 2008.
- SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L.; FERREIRA, L. G. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do bioma Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 1, p. 153-156, 2008.
- SCHARENBRUCH, B. C.; LLOYD, J. E. Particulate organic matter and soil nitrogen availability in urban landscapes. **Arboriculture and Urban Forestry**, Champaign, v. 32, n. 4, p. 180-191, 2006.
- SCHNITZER, M. Humic substances: chemistry and reactions. In: SCHNITZER, M.; KHAN, S. U. (Ed.). **Soil organic matter**. New York: Elsevier, 1978. p. 1-64.
- SILVA, A. J. N.; RIBEIRO, M. R.; CARVALHO, F. G.; SILVA, V. N.; SILVA, L. E. S. F. Impact of sugarcane cultivation on soil carbon fractions, consistence limits and aggregate stability of a Yellow Latosol in Northeast Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 94, n. 2, p. 420-424, 2007.
- SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 275-374.

- SILVA, J. E.; LEMAINSKI, J.; RESCK, D. V. S. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de Cerrados do Oeste Baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 18, n. 3, p. 541-547, 1994.
- SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S. Matéria orgânica do solo. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. **Biologia dos solos dos cerrados**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1997. p. 467-524.
- SILVA, M. B.; KLIEMANN, H. J.; SILVEIRA, P. M.; LANNA, A. C. Atributos biológicos do solo sob influência da cobertura vegetal e do sistema de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 12, p. 1755-1761, 2007.
- SOHI, S. P.; MAHIEU, N.; ARAH, J. R. M.; POWLSON, D. S.; MADARI, B.; GAUNT, J. L. A procedure for isolating soil organic matter fractions suitable for modeling. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 65, n. 4, p. 1121-1128, 2001.
- SPARLING, G. P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v. 30, n. 2, p. 195-207, 1992.
- SPEHAR, C. R. Grain, fiber and fruit production in the Cerrado development. 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. 477-501.
- STEVENSON, F. J.; COLE, M. A. **Cycles of soils: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients**. 2. ed. New York: J. Wiley, 1999. 427 p.
- TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 33, n. 1, p. 141-163, 1982.
- VIEIRA, F. C. B.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; DIECKOW, J.; MIELNICZUK, J.; HE, Z. L. Carbon management index based on physical fractionation of soil organic matter in an Acrisol under long-term no-till cropping systems. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 96, n. 1-2, p. 195-204, 2007.
- WANG, Q.; BAI, Y.; GAO, H.; HE, J.; CHEN, H.; CHESNEY, R. C.; KUHN, N. J.; LI, H. Soil chemical properties and microbial biomass after 16 years of no-tillage farming on the Loess Plateau, China. **Geoderma**, Amsterdam, v. 144, n. 3-4, p. 502-508, 2008.
- WOOMER, P. L.; MARTIN, A.; ALBRECHT, A.; RESCK, D. V. S.; SHARPENSEEL, H. W. The importance and management of soil organic matter in the Tropics. In: WOOMER, P. L.; SWIFT, M. J. (Ed.). **The biological management of tropical soil fertility**. New York: John Wiley & Sons, 1994. p. 47-80.
- XAVIER, F. A. S.; MAIA, S. M. F.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba - CE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 247-258, 2006.

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, v. 127, n. 1-2, p. 168-173, 2005.

ZOTARELLI, L.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; SIX, J. Impact of tillage and crop rotation on light fraction and intra-aggregate soil organic matter in two Oxisols. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 95, n. 1-2, p. 196-206, 2007.

### **3 FRAÇÕES LÁBEIS E ESTÁVEIS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO SOB SISTEMAS DE MANEJO E VEGETAÇÃO NATURAL DE CERRADO**

#### **RESUMO**

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes sistemas de manejo nas frações lábeis e estáveis da matéria orgânica do solo no Cerrado. Foram determinados: o carbono orgânico e o nitrogênio total do solo (COT e NT); o carbono e o nitrogênio da matéria orgânica particulada (COP e NP); o carbono e o nitrogênio orgânicos associados a minerais (COM e NM); e o carbono orgânico particulado associado a classes de agregados (COPA). Utilizaram-se oito tratamentos: sete com sistemas de manejo do solo e um com cerrado nativo, como referência. O experimento foi projetado para estudar a dinâmica de sistemas de preparo do solo e a rotação de culturas, com alternância no tempo e no espaço. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com três repetições. As amostras de solo foram coletadas em cinco profundidades: 0-5, 5-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm. Alterações nos teores de carbono orgânico pelo uso do solo no Cerrado ocorrem, principalmente, na fração particulada da matéria orgânica (> 53 µm). O manejo adequado de pastagens promove aumento dos teores de matéria orgânica particulada pela associação com agregados maiores (2-8 mm).

*Palavras-chave:* fracionamento, matéria orgânica particulada, agregados, plantio direto, pastagem.

#### **ABSTRACT**

#### **LABILE AND STABLE FRACTIONS OF SOIL ORGANIC MATTER UNDER MANAGEMENT SYSTEMS AND NATURAL CERRADO VEGETATION**

The objective of this work was to evaluate the effect of different management systems on labile and stable fractions of soil organic matter in the Cerrado. Soil organic carbon and total nitrogen (COT and NT), carbon and nitrogen of particulate organic matter (COP and NP), mineral-associated organic carbon and nitrogen, and particulate organic carbon associated with aggregate size classes were determined (COPA). Eight treatments were used: seven soil management systems and an undisturbed area of Savanna type vegetation, Cerrado, as a reference. The experiment was established in a randomized block design with three replicates to study soil tillage and crop rotation dynamics, with temporal and spatial alternation. Soil samples were taken at five depths: 0-5, 5-10, 10-20, 20-30 and 30-40 cm. The soil management systems have caused changes on soil organic carbon contents mainly on particulate organic matter (> 53 µm), as compared to the Cerrado vegetation. Adequate pasture management has promoted an increase of soil particulate organic matter contents through the association with 8 to 2 mm-aggregates.

*Key words:* fractionation, particulate organic matter, aggregates, no-till, pasture.



### 3.1 INTRODUÇÃO

A conversão de áreas nativas para o cultivo é normalmente acompanhada por declínio de matéria orgânica e deterioração da estrutura do solo (Resck et al., 2008). Além de alterações na estrutura do solo, a diminuição da matéria orgânica está associada a efeitos negativos nas concentrações de nutrientes do solo (Ashagrie et al., 2007), no armazenamento de água (Resck et al., 2008) e na emissão de gases de efeito estufa (Lal, 2006).

A maior parte dos estudos utiliza os teores de carbono orgânico total (COT) do solo para quantificar os estoques e as alterações da matéria orgânica (Silva et al., 1994; Corazza et al., 1999; Ferreira et al., 2007; Jantalia et al., 2007). Em muitos casos, o COT não é capaz de expressar alterações decorrentes do uso do solo (Roscoe & Buurman, 2003), devido, principalmente, às altas concentrações de C associado aos minerais de forma estável e pouco alterável (Lal, 2006).

A MOS está localizada em diferentes compartimentos, que apresentam distintos tempos de reciclagem e formas de proteção (Duxbury et al., 1989). Esses compartimentos ou frações podem ser arbitrariamente estabelecidos com base em critérios de localização, composição química ou grau de estabilidade do material orgânico (Baldock & Nelson, 2000).

Inicialmente as frações da MOS eram separadas exclusivamente por meio químico (Stevenson & Cole, 1999). Nas últimas décadas, diversas técnicas foram aperfeiçoadas para separação das diferentes frações, procurando identificar formas lábeis e estáveis da MOS, bem como sua localização na estrutura do solo (Roscoe & Machado, 2002). Uma dessas técnicas possibilita a separação em matéria orgânica particulada (lábil), composta por materiais prontamente disponíveis para a decomposição por ataque microbiano, como folhas, raízes e restos de animais (Duxbury et al. 1989), e matéria orgânica associada aos minerais do solo (estável) (Cambardella & Elliott, 1992).

Essas frações têm sido utilizadas em estudos que envolvem o armazenamento de MOS sob diferentes sistemas de manejo (Bayer et al., 2004; Costa et al., 2004; Conceição et al., 2005; Vieira et al., 2007; Carneiro et al., 2009; Sá & Lal, 2009), especificamente em agregados estáveis em água (Ashagrie et al., 2007). Tem sido ressaltada a utilização dessas frações como atributo de qualidade do solo (Conceição et al., 2005) e a sensibilidade como indicador de alterações provocadas pelo cultivo (Ashagrie et

al., 2007; Carneiro et al., 2009).

Vieira et al. (2007) demonstraram que a matéria orgânica particulada (> 53  $\mu\text{m}$ ) pode ser utilizada na determinação de índice que mede a labilidade da matéria orgânica. É comprovada a influência da matéria orgânica na formação e na estabilidade de agregados, porém as frações da matéria orgânica atuam de forma diferenciada nesses processos (Baldock, 2002). A fração particulada age como agente cimentante para estabilizar macroagregados e como proteção intra-agregado da própria matéria orgânica (Six et al., 2002). Costa et al. (2004) verificaram contribuições diferenciadas do carbono orgânico total e do carbono orgânico particulado (mais lábil) na formação de agregados do solo. O efeito de vinte seis anos de cultivo foi mais pronunciado na matéria orgânica particulada associada aos macroagregados do que naquela associada aos microagregados (Ashagrie et al., 2007).

Em estudo de Bayer et al. (2004), o carbono orgânico da matéria orgânica particulada (> 53  $\mu\text{m}$ ) apresentou maior sensibilidade às alterações no manejo do que o COT. Nesse estudo, o estoque de C na matéria orgânica associada aos minerais (COM) não foi afetado pelos sistemas de manejo. Segundo os autores, isto se deve ao avançado estágio de humificação e estabilidade com a fração mineral do solo. O C e o N da matéria orgânica particulada apresentaram maiores taxas de estratificação em perfis de solos sob plantio direto, quando comparados com a matéria orgânica associada aos minerais (Sá & Lal, 2009).

Em solos do Cerrado ainda são escassos os trabalhos sobre essas frações da matéria orgânica, sobretudo em processos de proteção em agregados do solo. Com a crescente utilização de modelos de simulação em estudos sobre a MOS (Gjettermann et al., 2008), torna-se necessário identificar as suas diferentes frações, bem como suas formas de proteção em solos de regiões tropicais, como os do Cerrado, sob vegetação natural e sistemas de manejo.

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos de sistemas de manejo e uma área sob vegetação natural de Cerrado nas frações lábeis e estáveis da matéria orgânica em um Latossolo Vermelho.

## 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.2.1 Localização e caracterização da área experimental

O trabalho foi conduzido no campo experimental da Embrapa Cerrados, localizado em Planaltina-DF (15°35'30"S e 47°42'00"W e altitude de 1.014 m). Todos os tratamentos foram instalados em um Latossolo Vermelho de textura argilosa, cujos atributos químicos e físicos encontram-se na Tabela 3.1 e Apêndice A.

**Tabela 3.1.** Caracterização química e física do solo<sup>1</sup>.

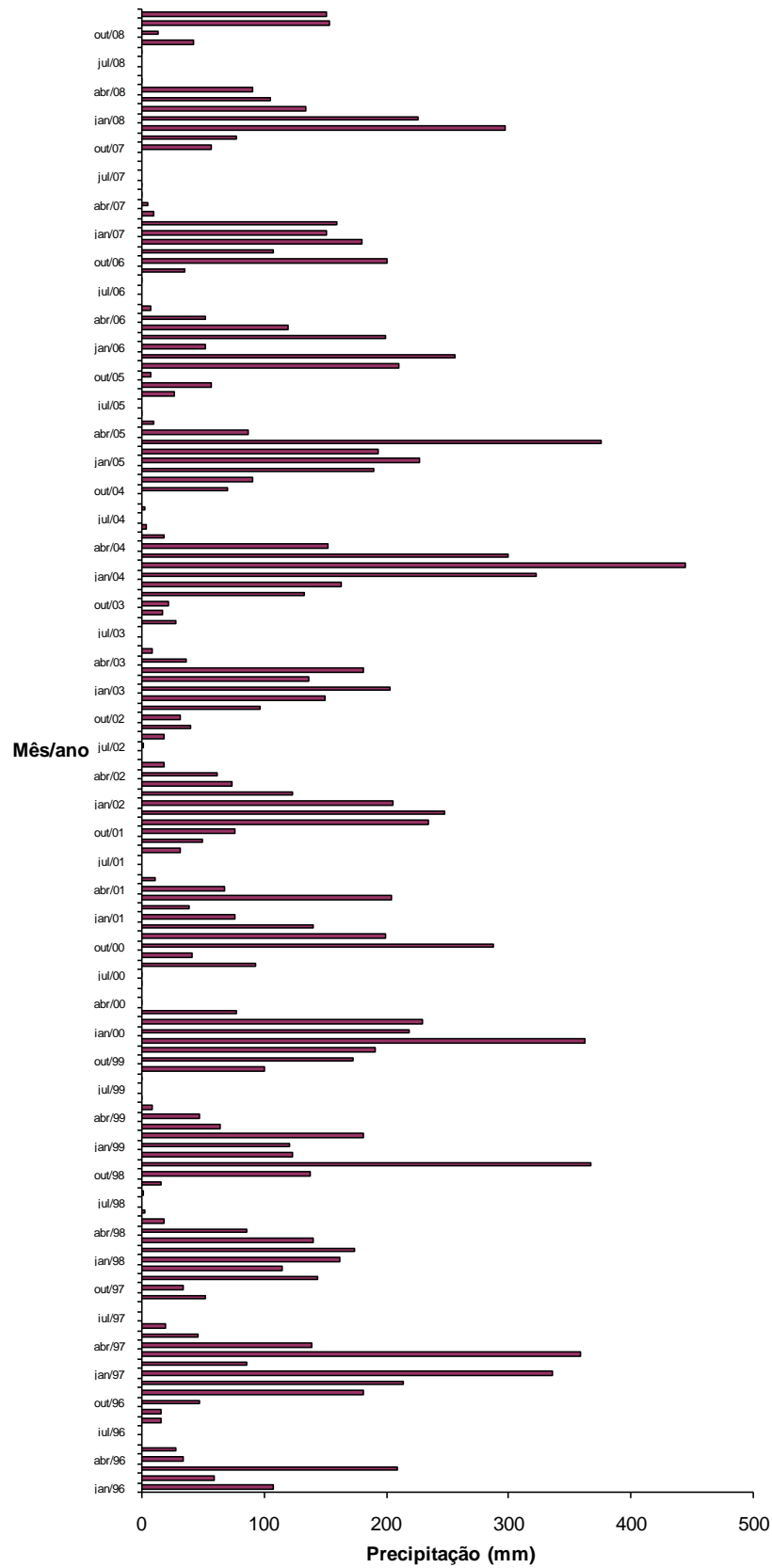
Característica <sup>2</sup>	Profundidade (cm)				
	0-5	5-10	10-20	20-30	30-40
Corg (g kg <sup>-1</sup> )	18,8±3,9	16,4±2,6	15,3±	12,7±1,4	11,4±1,2
pH (H <sub>2</sub> O)	5,2±0,4	4,8±0,2	4,7±0,2	4,8±0,1	4,8±0,1
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,6±0,7	0,8±0,5	0,9±0,4	0,9±0,3	0,9±0,2
Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	3,6±1,4	2,6±1,3	2,1±1,1	1,4±0,8	1,2±0,5
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	2,5±1,1	1,9±1,0	1,4±0,9	0,9±0,6	0,8±0,4
H + Al (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	6,8±2,5	7,3±1,3	7,0±1,1	6,5±0,8	6,0±0,9
N (g kg <sup>-1</sup> )	1,8±0,3	1,7±0,2	1,6±0,2	1,3±0,2	1,3±0,2
P (mg kg <sup>-1</sup> )	9,2 ± 1,9	11,8 ± 5,3	8,1 ± 2,8	3,3 ± 1,3	1,3 ± 1,2
K (mg kg <sup>-1</sup> )	211 ± 71,7	113,1 ± 18,9	50,8 ± 22,9	34,1 ± 12,4	22,7 ± 9,7
Dens.Solo(kg dm <sup>-3</sup> )	1,09±0,08	1,06±0,07	1,04±0,05	1,07±0,05	1,07±0,06
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	508±27	505±26	509±25	517±25	524±21
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	89±20	91±17	87±13	78±19	77±19
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	403±23	404±22	403±21	405±27	400±17

<sup>1</sup> Os valores correspondem às médias e aos desvios-padrão das amostras de cada profundidade (n = 24) dos tratamentos considerados neste estudo.

<sup>2</sup> Atributos avaliados segundo metodologia preconizada pela Embrapa (1997).

O clima da região corresponde ao tipo Aw (tropical chuvoso), segundo classificação de Köppen, com presença de invernos secos e verões chuvosos. Uma característica marcante do clima local e do Cerrado, de maneira geral, é um período sem chuvas, dentro da estação chuvosa, conhecido como veranico (Adámoli et al., 1986). A distribuição das precipitações mensais no local da área experimental no período de 1996 a

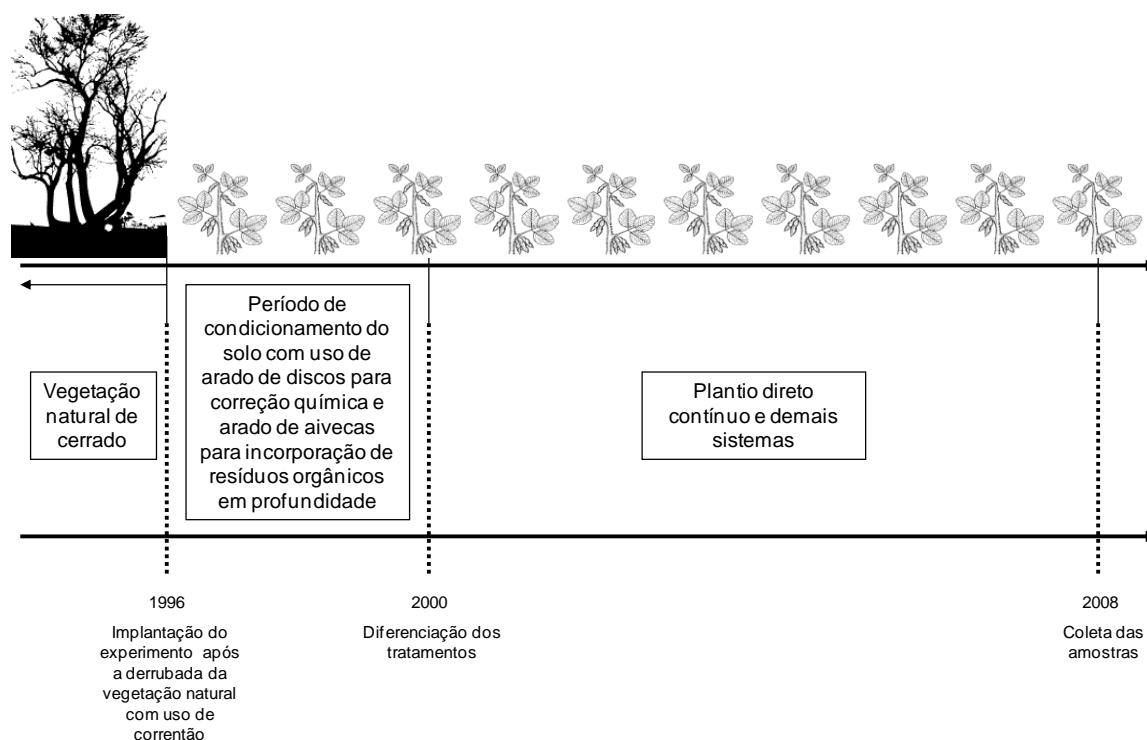
2008 é apresentada na Figura 3.1.



**Figura 3.1.** Distribuição pluviométrica mensal no local da área experimental no período de 1996 a 2008 (Embrapa Cerrados, dados não publicados).

### 3.2.2 Sistemas de manejo estudados

Foram selecionados oito tratamentos de um experimento constituído por dezesseis tratamentos mais um com parcelas de cerrado sob vegetação natural. O experimento foi projetado para estudar a dinâmica de sistemas de preparo do solo e rotação de culturas, com alternância no tempo e no espaço, conforme ilustrado na Figura 3.2.



**Figura 3.2.** Esquema representativo da cronologia de manejo do solo na área experimental.

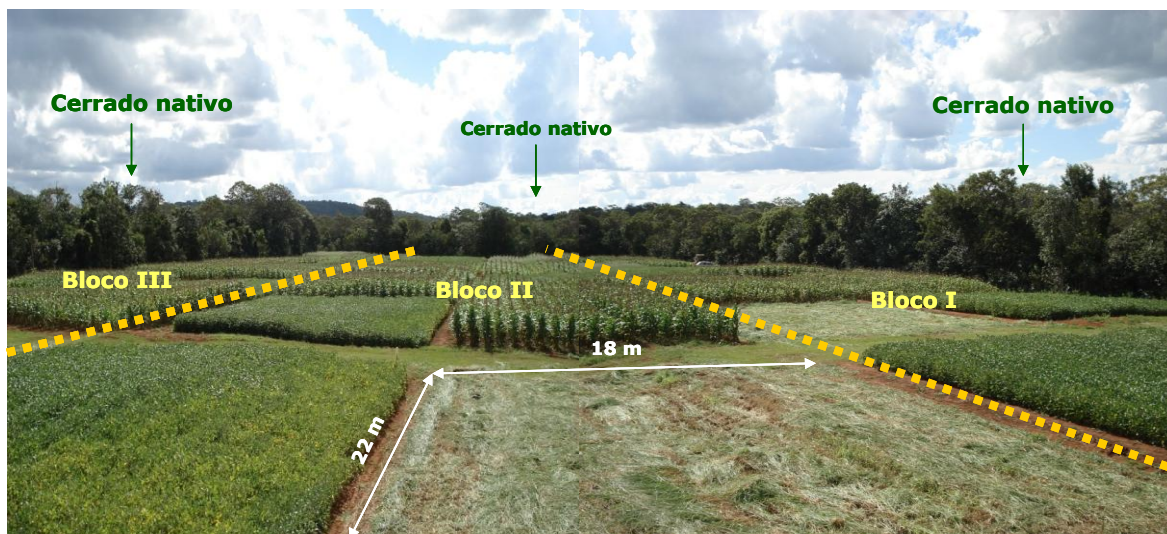
O experimento foi instalado em 1996 e o histórico completo encontra-se no Apêndice B. Na Tabela 3.2, apresenta-se a descrição dos sistemas de manejo estudados.

**Tabela 3.2.** Descrição dos sistemas de manejo do solo.

Sistema de manejo	Símbolo	Descrição <sup>1</sup>
Grade pesada	GP	Preparo do solo com grade pesada e cultivado com leguminosas há doze anos.
Arado de discos	AD	Preparo do solo com arado de discos e cultivado com leguminosas há doze anos.
Preparo mínimo (escarificador)	ESC	Preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o cultivo mínimo com escarificador, com alternância bienal de gramíneas e leguminosas.
Plantio direto com rotação bienal	PD1	Preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o plantio direto, com alternância bienal de gramíneas e leguminosas.
Plantio direto com rotação bienal e safrinha	PD2	Preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o plantio direto, com alternância bienal no verão de gramíneas e leguminosas, combinada com safrinha de leguminosas e gramíneas, respectivamente.
Plantio direto com rotação anual	PD3	Preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o plantio direto, com alternância anual de gramíneas e leguminosas.
Pastagem	PAST	Preparo com arado de discos e cultivo de gramíneas nos dois primeiros anos e arado de aivecas com leguminosas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se pastagem <i>Brachiaria brizantha</i> , sem pastejo animal.
Cerrado	CER	Área de Cerrado <i>strictu sensu</i> contígua à área experimental, utilizada como ambiente de referência.

<sup>1</sup> As espécies de leguminosa e gramínea, respectivamente, utilizadas no verão, foram soja e milho e as utilizadas em todas as rotações, como safrinha, foram feijão guandu (*Cajanus cajan*) e milheto (*Pennisetum glaucum*).

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com três repetições. Cada parcela experimental ocupa uma área de 22 m de comprimento e 18 m de largura, conforme Figura 3.3.



**Figura 3.3.** Representação da área experimental.

### 3.2.3 Época e profundidades de amostragem do solo e condução das culturas

Em cada parcela, cinco subamostras deformadas coletadas aleatoriamente formaram uma amostra composta, que se constituiu na repetição do tratamento. Esta coleta foi realizada em fevereiro de 2008, por ocasião da floração da soja, em cinco profundidades: 0-5; 5-10; 10-20; 20-30 e 30-40 cm.

A soja cultivar Conquista foi plantada em 28 de novembro de 2007. O espaçamento utilizado foi de 45 cm entre linhas e quinze plantas por metro. As sementes foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*, utilizando-se as estirpes SEMIA 5080 e SEMIA 5079, na concentração de 0,5 kg de inoculante para cada 40 kg de sementes. Estas sementes foram tratadas com fungicida carboxin na dosagem de 200 mL para cada 100 kg de sementes. A adubação de plantio, comum a todos os tratamentos com soja, foi de 400 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 0-20-20 mais 50 kg ha<sup>-1</sup> de FTE BR 12, com a seguinte composição: 1,8% de boro, 0,8% de cobre, 3% de ferro, 2% de manganês, 0,1% de molibdênio e 9% de zinco. Como tratamento fitossanitário foi realizada aplicação de fungicida composto de epoxiconazole e pyraclostrobin na dosagem de 0,5 L ha<sup>-1</sup>. A colheita foi realizada em 17 de abril de 2008. As produtividades da soja nos diferentes sistemas de manejo são apresentadas no Apêndice C.

A pastagem utilizada no tratamento PAST foi a *Brachiaria brizantha*, plantada

com espaçamento de 45 cm entre linhas e 25 kg de sementes por hectare. A adubação utilizada anualmente é de 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, cuja fonte foi o superfosfato simples, 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, tendo como fonte o cloreto de potássio e 60 kg ha<sup>-1</sup> de N (sulfato de amônio). A pastagem não sofre pastejo animal. São realizados dois cortes manuais por ano, sendo um em fevereiro/março e outro em julho/agosto.

### 3.2.4 Fracionamento da matéria orgânica

Após a coleta, as amostras de solo, ainda em estado friável, foram passadas em peneira de 8 mm. Essas amostras receberam a denominação de matrizes e delas foram utilizadas subamostras para todas as análises. Uma seqüência com os procedimentos de separação das amostras é apresentada no Apêndice D.

Realizou-se o fracionamento físico da matéria orgânica segundo Cambardella & Elliott (1992), com adaptações no peso da amostra utilizada, conforme Bayer et al. (2004) e Bongiovanni & Lobartini (2006). Subamostras da matriz, após secagem ao ar, foram passadas em peneira de 2 mm. Destas, 20 g foram colocados em frascos plásticos com volume de 250 mL. Foram adicionados 70 mL de hexametáfosfato de sódio na concentração de 5 g L<sup>-1</sup>. Agitou-se a mistura por 15 h em agitador horizontal, regulado para cento e trinta movimentos por minuto.

Depois desse processo, todo o conteúdo do frasco foi colocado em peneira de 53 µm e lavado com auxílio de fraco jato de água destilada. O material retido na peneira, constituído por resíduos orgânicos e a fração areia, foi definido como matéria orgânica particulada total (> 53 µm), foi secado em estufa a 50°C, por 72 h. Após secagem, a amostra foi moída em gral de porcelana e passada totalmente em peneira de 0,149 mm. Em seguida, alíquotas foram pesadas e analisadas quanto aos seus teores de C e N, constituindo-se no carbono orgânico particulado (COP) e no nitrogênio da matéria orgânica particulada (NP).

Uma alíquota da subamostra passada em peneira de 2 mm foi moída em gral de porcelana e passada em peneira de 0,149 mm. Posteriormente esse material foi utilizado para a análise do carbono orgânico total (COT) e do nitrogênio total (NT) da amostra total (*bulk sample*). O carbono e o nitrogênio da matéria orgânica associada aos minerais (COM e NM, respectivamente) foram calculados pela diferença entre os teores de COT e COP (para COM) e entre NT e NP (para NM).



Uma subamostra de 100 g da matriz (< 8 mm) foi usada para a determinação das classes de agregados para as cinco profundidades dos oito tratamentos, realizada de acordo com Embrapa (1997). Após a separação, foram escolhidas três classes (2-8 mm; 0,5-1 mm; 0,106-0,25 mm) para a determinação das frações de carbono e nitrogênio. Das amostras de cada classe escolhida, utilizou-se uma alíquota para a operação de fracionamento da matéria orgânica. Aplicou-se a mesma metodologia descrita acima para a separação da matéria orgânica particulada.

Ao final, determinaram-se os teores de carbono e nitrogênio particulados e associados aos minerais presentes nas três classes de agregados. Foram adotadas as seguintes denominações: COPA1 - carbono orgânico particulado na classe 2-8 mm; COPA2 - carbono orgânico particulado na classe 0,5-1 mm; COPA3 - carbono orgânico particulado na classe 0,106-0,25 mm; NP1 - nitrogênio na matéria orgânica particulada na classe 2-8 mm; NP2 - nitrogênio na matéria orgânica particulada na classe 0,5-1 mm; NP3 - nitrogênio na matéria orgânica particulada na classe 0,106-0,25 mm.

### 3.2.5 Determinação das classes de agregados

Para a determinação da distribuição das classes de agregados estáveis em água, foram utilizados 100 g de solo de cada amostra, que foram pré-umedecidos por capilaridade ao serem colocados no aparelho de oscilação vertical sobre um conjunto de peneiras de 2,00 mm; 1,00 mm; 0,50 mm; 0,25 mm e 0,106 mm de diâmetro, conforme descrito por Embrapa (1997). Transcorridos 30 min, as porções retidas em cada peneira foram transferidas, com o auxílio de jatos de água, para potes de alumínio e secadas em estufa a 60°C por um período de 72 h para posterior pesagem. A partir dos valores dessas massas e do conhecimento prévio dos teores de água das amostras de solo submetidas à análise, foram quantificadas as porcentagens de agregados retidas nas cinco peneiras utilizadas. Calculou-se o diâmetro médio ponderado (DMP), conforme Embrapa (1997), pela equação:

$$DMP = \sum_{i=1}^n (x_i \cdot w_i)$$

sendo  $x_i$ : diâmetro médio das classes de agregados;  $w_i$ : proporção de cada classe em relação ao total.

### 3.2.6 Análises de carbono orgânico total e nitrogênio total

As análises de carbono orgânico total e nitrogênio total das frações particuladas totais e nas classes de agregados e da amostra *bulk sample* foram realizadas por combustão via seca, em analisador elementar de CHN (modelo PE 2400, Série II CHNS/O, PerkinElmer, Norwalk, USA), da Embrapa Cerrados, utilizando-se aproximadamente 20 mg de material previamente macerado e peneirado, em peneira de 0,149 mm. A digestão do material foi feita em câmara de combustão fechada a 900°C.

### 3.2.7 Análises estatísticas

As comparações das variáveis nos perfis de solo (considerando-se a profundidade de 0-40 cm) nos diferentes sistemas de manejo foram realizadas usando-se modelos de regressões polinomiais. Utilizou-se o programa denominado “Profile” (Colwell, 1978) para diferenciação estatística dos tratamentos, por meio da análise de variância dos valores dos parâmetros de uma regressão polinomial ortogonal, em que  $y$  representa as propriedades do solo (COT, COP, COM, NT, NP, NM, COPA1, COPA2, COPA3 e DMP) e  $x$  representa os valores nas profundidades consideradas neste estudo.

Os parâmetros  $p_0$ ,  $p_1$ ,  $p_2$  e  $p_3$ , independentes entre si, foram estimados para cada repetição amostral, considerando-se os pontos médios nos intervalos de profundidade amostrados: 2,5 cm (0-5 cm), 7,5 cm (5-10 cm), 15 cm (10-20 cm), 25 cm (20-30 cm) e 35 cm (30-40 cm), e comparando-se esses parâmetros com o teste  $t$  a 5%. O modelo de regressão polinomial ortogonal  $y = p_0 + p_1X_L + p_2X_Q + p_3X_C$ , em que  $p_0$  representa o efeito médio dos tratamentos no perfil e os parâmetros da regressão  $p_1$ ,  $p_2$  e  $p_3$  representam a quantidade e a direção (sinal) de cada tendência linear, quadrática e cúbica dos teores das variáveis analisadas em profundidade (cm), respectivamente. Os valores de  $X_L$ ,  $X_Q$  e  $X_C$  referem-se, respectivamente, aos coeficientes linear, quadrático e cúbico dos polinômios ortogonais para a interpolação, obtidos por meio de um programa escrito em linguagem Fortran (Apêndice E) (Colwell, 1978). Os coeficientes para interpolação de polinômios ortogonais nos diferentes sistemas de manejo são apresentados no Apêndice F.

Utilizou-se também a regressão não-ortogonal  $\hat{y} = b_0 + b_1x + b_2x^2 + b_3x^3$ , em que  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$  e  $b_3$  são interdependentes e representam, respectivamente, os estimadores dos

parâmetros para o intercepto e os efeitos linear, quadrático e cúbico para cálculos estimativos dos valores finais das variáveis consideradas, em relação à profundidade  $x$  (cm).

A análise de “Profile” possibilita o acompanhamento da dinâmica das diferentes variáveis no perfil do solo razão pela qual foi utilizada neste estudo. Este tipo de análise tem sido utilizado em diversos estudos com sistemas de manejo do solo (Corazza et al., 1999; Figueiredo et al., 2007; Ferreira et al., 2007).

Utilizou-se o teste F multivariado para comparação dos modelos de regressão não ortogonal para a variável COP em todos os tratamentos. Foi realizada ainda análise de correlação de Pearson entre as variáveis estudadas.

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores apresentados na Tabela 3.3 representam os efeitos médios das variáveis COT, COP, COM e COP:COT na profundidade 0-40 cm do solo ( $p_0$ ). Os sistemas de manejo do solo apresentaram diferenças nos teores de carbono orgânico total, particulado e associado aos minerais e na relação carbono orgânico particulado: carbono orgânico total.

Os sistemas CER, PAST e PD1 apresentaram os maiores valores de COT (21,0; 20,9 e 20,8 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente) (Tabela 3.3). Em áreas próximas à deste estudo, foram encontrados resultados semelhantes quanto aos teores de COT (Ferreira et al., 2007) e estoques de COT (Corazza et al., 1999; Jantalia et al., 2007), porém com menores valores de C para os sistemas com revolvimento anual do solo. Carneiro et al. (2008) também verificaram maior acúmulo de C orgânico do solo em área sob pastagem, com teores similares aos encontrados em cerrado nativo.

Rangel & Silva (2007) também encontraram estoques de COT iguais entre sistemas sob pastagem e mata nativa e maiores do que em sistema com revolvimento do solo. Contrariando os resultados deste estudo, Marchão et al. (2008) encontraram os menores teores de COT em solos sob pastagem contínua, nas profundidades superficiais. Essas variações podem ocorrer em função do tipo de manejo (correção e fertilização) e da pressão de pastejo animal.

Entre os sistemas agrícolas manejados, o PD1 apresentou teores de COT maiores do que os demais sistemas estudados, incluindo outros sistemas conservacionistas

(ESC, PD2 e PD3). Estes resultados indicam formas diferenciadas de acúmulo de carbono no solo, em função da dinâmica dos sistemas de manejo: alternância das culturas e dos sistemas de preparo do solo, antes da implantação do sistema de plantio direto, para as condições edafoclimáticas do Cerrado (Resck et al., 2008).

**Tabela 3.3.** Comparação do parâmetro  $p_0$  da regressão  $y = p_{0M} + p_1X_L + p_2X_Q + p_3X_C$  para carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico associado aos minerais (COM) e relação carbono orgânico particulado: carbono orgânico total (COP:COT) em oito sistemas de manejo do solo.

Sistema	COT (**) (g kg <sup>-1</sup> )	COP (**) (g kg <sup>-1</sup> )	COM (*) (g kg <sup>-1</sup> )	COP:COT(**) (%)
GP <sup>1</sup>	19,3 b <sup>2</sup>	5,58 bc	13,5 abc	25 cd
AD	18,5 bc	3,35 c	17,5 a	19 d
ESC	17,8 c	3,55 c	13,9 abc	25 cd
PD1	20,8 a	5,06 bc	12,8 bc	33 bc
PD2	18,8 bc	4,60 c	14,2 ab	23 cd
PD3	18,8 bc	3,97 c	14,7 ab	21 d
PAST	20,9 a	10,16 a	10,4 c	48 a
CER	21,0 a	8,05 ab	11,6 bc	39 ab

\*: significativo a 5%; \*\*: significativo a 1% pelo teste F.

<sup>1</sup> GP: preparo do solo com grade pesada e cultivado com leguminosas há doze anos; AD: preparo do solo com arado de discos e cultivado com leguminosas há doze anos; ESC: preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o cultivo mínimo com escarificador, com alternância bienal de gramíneas e leguminosas; PD1: preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o plantio direto, com alternância bienal de gramíneas e leguminosas; PD2: preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o plantio direto, com alternância bienal no verão de gramíneas e leguminosas, combinada com safrinha de leguminosas e gramíneas, respectivamente; PD3: preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o plantio direto, com alternância anual de gramíneas e leguminosas; PAST: preparo com arado de discos e cultivo de gramíneas nos dois primeiros anos e arado de aivecas com leguminosas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se pastagem, sem pastejo animal; CER: área de Cerrado *strictu sensu* contígua à área experimental, utilizada como ambiente de referência.

<sup>2</sup> Valores seguidos da mesma letra na coluna não apresentam diferenças significativas entre si pelo teste t a 5%.

Os teores de carbono na matéria orgânica particulada, expressos pelos valores médios de COP na profundidade 0-40 cm ( $p_0$ ), situaram-se entre 3,35 g kg<sup>-1</sup>, no sistema sob arado de discos, e 10,16 g kg<sup>-1</sup>, sob pastagem. Foi verificado um tempo de reciclagem mais lento na matéria orgânica particulada derivada de pastagens, quando comparado àquela oriunda de resíduos de trigo (Cambardella & Elliot, 1992). Este fato, aliado ao grande volume de raízes produzidas pelas pastagens, pode explicar a elevada presença de

COP nesse sistema.

As pastagens apresentam-se como opção para aumentar o seqüestro de carbono nos trópicos, especialmente em savanas, como o Cerrado brasileiro, principalmente por apresentar sistema radicular agressivo, com rizodeposição e pela constante renovação de suas raízes (Lal, 2006; Salton et al., 2008), funcionando como um sistema acumulador e restaurador de carbono no solo (Corraza et al., 1999; Resck et al., 2008). Como, normalmente, esse potencial é determinado pela utilização de valores de carbono orgânico total (Corazza et al., 1999; Marchão et al., 2008), cuidados devem ser tomados quanto ao manejo dessas pastagens, considerando a elevada presença de matéria orgânica particulada. Por ser mais lábil (Baldock & Nelson, 2000), essa fração da matéria orgânica pode ser rapidamente decomposta, constituindo-se, assim, em reserva frágil de carbono no solo. Diminuição dessa fração pode significar aumento das emissões de CO<sub>2</sub>. Em pastagens degradadas, foram encontradas reduções de 36% no carbono lábil em relação à mata secundária (Portugal et al., 2008). De acordo com Lal (2006), as perdas de carbono do solo são rápidas e drásticas, porém o ganho é lento e variável.

Uma análise comparativa das frações da matéria orgânica mostra intensidades diferenciadas para as alterações dos teores de C (Tabela 3.3). Excluindo-se o sistema PAST e considerando-se a média dos demais sistemas manejados, a redução do teor de COT foi de apenas 9,5% na passagem do cerrado natural para os demais sistemas (CER = 21 g kg<sup>-1</sup>; média dos demais sistemas = 19 g kg<sup>-1</sup>). Quando a mesma comparação é feita com a matéria orgânica particulada, os teores médios de COP no perfil caem quase pela metade (46%). Utilizando-se a pastagem como referência, essa queda chega a 57%. Esses resultados demonstram que a perda de carbono ocasionada pelo cultivo no Cerrado ocorre na fração particulada da matéria orgânica. Perdas semelhantes, porém menores, foram verificadas no Sul do Brasil (Sá & Lal, 2009) e em outras regiões do mundo, como no Canadá (Cambardella & Elliot, 1992) e na Argentina (Bongiovanni & Lobartini, 2006).

A participação do COP nos teores de COT (COP:COT) variou de 19% (AD) a 48% (PAST), considerando-se o comportamento médio no perfil (0-40 cm). Essa participação variou de 18% a 39% em sistemas sob pastagens nativas e sistemas manejados, respectivamente, em solos do Canadá (Cambardella & Elliot, 1992), e de 15% a 30% em solos não perturbados e revolvidos, respectivamente, na Argentina (Bongiovanni & Lobartini, 2006). No Sul do Brasil, a relação COP:COT variou de 9%, em solo descoberto degradado, a 35%, em sistema sob plantio direto com a utilização de guandu,

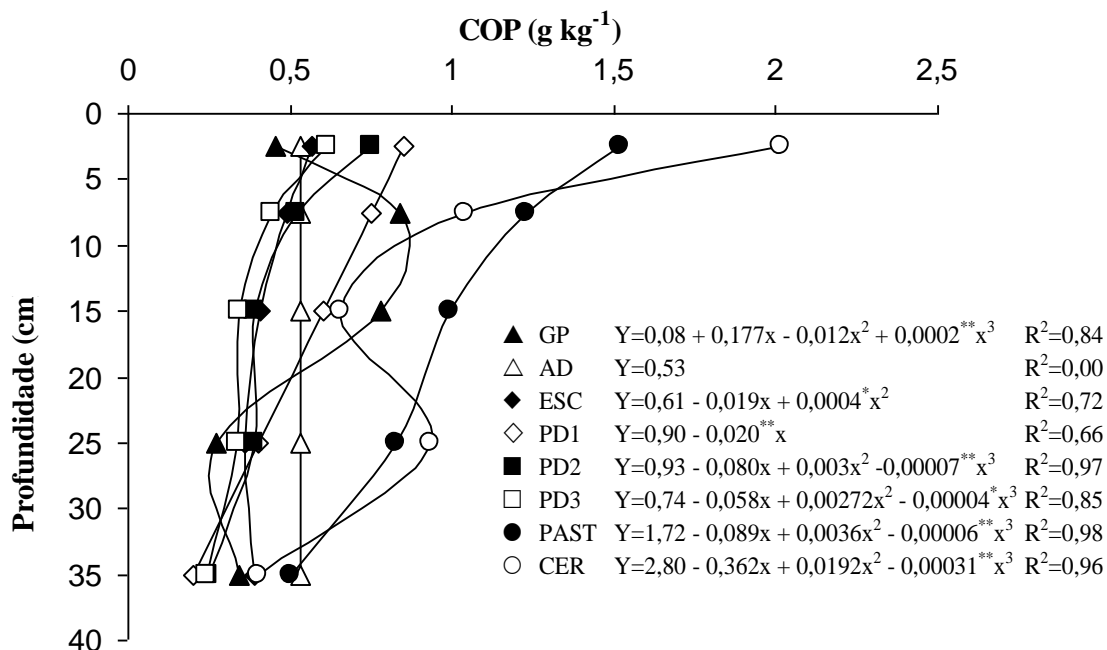
determinada apenas na camada 0-5 cm (Conceição et al., 2005). Ainda no Sul do Brasil, Vieira et al. (2007), em solos sob plantio direto, encontraram variação de 9,5% a 17,7% nessa relação. Em Latossolo Vermelho de Mato Grosso do Sul, considerando-se os estoques de COP, essa relação variou de 11% a 15% na camada 0-20 cm, apenas em sistemas sob plantio direto e convencional, respectivamente (Bayer et al., 2004).

O sistema AD apresentou valor de COM superior aos sistemas CER, PAST e PD1. Em região subtropical do Sul do Brasil, o sistema de preparo convencional com arado de discos apresentou maiores teores de COM do que os sistemas sob plantio direto e mata nativa (Sá & Lal, 2009). Esses resultados demonstram que, apesar de mais estável, essa fração da matéria orgânica pode ser alterada pelo uso freqüente de implementos como arado de discos. De acordo com Freitas et al. (2000), para Latossolos no Cerrado, a incorporação dos resíduos no sistema de preparo convencional do solo favorece a estocagem de C no compartimento organo-argiloso, embora estudos adicionais devam ser realizados para a detecção da participação do carbono pirogênico nessa fração da matéria orgânica.

Os modelos de regressão não-ortogonais de COP, para os diferentes sistemas nos perfis do solo, são apresentados na Figura 3.4. Foram considerados graus elevados das regressões, desde que significativos a 5% ( $p < 0,05$ ). Os sistemas de manejo apresentaram diferentes comportamentos quanto à distribuição de COP nos perfis. Em geral, nas camadas superficiais, os sistemas podem ser divididos em três grupos: o primeiro, composto por CER e PAST, apresentou os maiores teores de COP; o segundo, representado pelos sistemas sob plantio direto, apresentou valores intermediários; o terceiro, formado pelos sistemas em que há revolvimento anual do solo (GP e AD), mesmo que mínimo (ESC), apresentou os menores teores. De acordo com Lal (2006), uma das estratégias para aumento da taxa de seqüestro de carbono em solos de regiões tropicais é a utilização de sistemas de manejo que proporcionem grande quantidade de biomassa, especialmente com sistemas radiculares profundos. Pelos resultados apresentados, a pastagem é uma opção adequada.

Sá & Lal (2009) estudaram as taxas de estratificação do COP em perfis de solos sob sistemas de manejo no Sul do Brasil. Essa taxa é calculada pela razão entre os teores de COP na camada 0-5 cm e nas demais camadas (0-5 cm:5-10 cm, por exemplo). Os resultados mostraram que o plantio direto apresentou maior estratificação do COP, superior aos sistemas sob preparo convencional. Isso não só demonstra a capacidade do

plântio direto de acumular resíduos na superfície, principalmente em regiões de temperatura mais amena, mas comprova a limitação desse sistema em distribuir matéria orgânica pelo perfil do solo explorado pelas culturas (Resck, 1997).



**Figura 3.4.** Distribuição do conteúdo de carbono orgânico particulado do solo sob diferentes sistemas de manejo, conforme o modelo completo de regressão dos polinômios não-ortogonais (\*: significativo a 5%; \*\*: significativo a 1% e <sup>ns</sup>: não-significativo pelo teste F).

No presente estudo, essa estratificação foi mínima nos sistemas sob plântio direto (Figura 3.4). Com exceção do PD1, que mostrou declínio linear de COP no perfil, os sistemas PD2 e PD3 apresentaram comportamentos cúbicos significativos, demonstrando, porém, certa homogeneidade no perfil, resultado da dinâmica de sistemas de preparo utilizada nos quatro primeiros anos do experimento, antes da implantação do plântio direto. A melhor distribuição de COP pelo perfil sob plântio direto (PD2 e PD3) confirma a assertiva de Resck (1998), segundo a qual, para as condições edafoclimáticas do Cerrado, considerando-se o exaustivo uso anual de implementos de preparo do solo verificado nesse domínio, o plântio direto deve ser utilizado, precedido, porém, de sistemas de manejo que incluam os arados de discos e de aivecas, para promover as devidas correções químicas e físicas, o aumento de matéria orgânica e conseqüentes modificações na atividade biológica numa maior profundidade no perfil do solo.

Aos 40 cm de profundidade, o COP é praticamente nulo em todos os sistemas sem revolvimento anual do solo, acompanhando o comportamento do cerrado nativo. A

diminuição nos reservatórios lábeis da matéria orgânica em subsuperfície, nos sistemas não perturbados, é decorrente das transformações do material abundante da liteira e do gradiente que se cria no perfil do solo (Sá et al., 2008). O uso freqüente de implementos de ação profunda, como os arados de discos (AD) e de aivecas, e até mesmo, em certas condições, a grade pesada (GP), pode elevar os teores de COP em profundidade (Figura 3.4).

Na Tabela 3.4 são apresentados os valores de F multivariado utilizados para comparar as regressões de COP nos perfis dos tratamentos. Verifica-se que apenas houve significância entre os modelos dos sistemas sob plantio direto (PD2 e PD3), PAST e CER, demonstrando uma similaridade na forma de distribuição de matéria orgânica particulada no perfil entre os sistemas sem revolvimento anual do solo.

**Tabela 3.4.** Valores de F multivariado para comparação dos modelos de regressão da variável carbono orgânico particulado (COP) entre oito sistemas de manejo do solo.

Sistema	GP	AD	ESC	PD1	PD2	PD3	PAST
GP <sup>1</sup>							
AD	0,99 <sup>ns</sup>						
ESC	0,60 <sup>ns</sup>	0,48 <sup>ns</sup>					
PD1	0,49 <sup>ns</sup>	0,76 <sup>ns</sup>	0,54 <sup>ns</sup>				
PD2	0,74 <sup>ns</sup>	0,64 <sup>ns</sup>	0,36 <sup>ns</sup>	0,82 <sup>ns</sup>			
PD3	0,61 <sup>ns</sup>	0,54 <sup>ns</sup>	0,40 <sup>ns</sup>	0,60 <sup>ns</sup>	0,62 <sup>*</sup>		
PAST	0,46 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,69 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>***</sup>	0,13 <sup>**</sup>	
CER	0,53 <sup>ns</sup>	0,34 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>	0,71 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>**</sup>	0,72 <sup>ns</sup>

\*: significativo a 10%; \*\*: significativo a 5%; \*\*\* significativo a 1%; ns: não-significativo pelo teste F.

<sup>1</sup> GP: preparo do solo com grade pesada e cultivado com leguminosas há doze anos; AD: preparo do solo com arado de discos e cultivado com leguminosas há doze anos; ESC: preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o cultivo mínimo com escarificador, com alternância bienal de gramíneas e leguminosas; PD1: preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o plantio direto, com alternância bienal de gramíneas e leguminosas; PD2: preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o plantio direto, com alternância bienal no verão de gramíneas e leguminosas, combinada com safrinha de leguminosas e gramíneas, respectivamente; PD3: preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o plantio direto, com alternância anual de gramíneas e leguminosas; PAST: preparo com arado de discos e cultivo de gramíneas nos dois primeiros anos e arado de aivecas com leguminosas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se pastagem, sem pastejo animal; CER: área de Cerrado *strictu sensu* contígua à área experimental, utilizada como ambiente de referência.

Deve-se ressaltar que, entre os sistemas sob plantio direto, o valor F multivariado para PD2 e PD3 foi elevado (0,62), demonstrando que, mesmo sendo



modelos de distribuição cúbicos, apresentam formatos diferentes, o que reforça os comportamentos das curvas apresentadas na Figura 3.4.

A relação C:N é utilizada como indicativo da qualidade da matéria orgânica (Stevenson & Cole, 1999). Na Tabela 3.5, essa relação é apresentada para matéria orgânica do solo (COT:NT) e particulada (COP:NP).

**Tabela 3.5.** Comparação do parâmetro  $p_0$  da regressão  $y = p_{0M} + p_{1X_L} + p_{2X_Q} + p_{3X_C}$  para as relações carbono orgânico total: nitrogênio total (COT:NT) e carbono orgânico particulado: nitrogênio da matéria orgânica particulada (COP:NP), em oito sistemas de manejo do solo.

Sistema	COT:NT (*)	COP:NP (**)
	(%)	(%)
GP <sup>1</sup>	17,1 bc <sup>2</sup>	26,74 c
AD	17,1 bc	13,60 d
ESC	18,8 a	32,90 bc
PD1	18,1 ab	25,27 c
PD2	16,1 c	34,60 bc
PD3	16,9 bc	29,55 c
PAST	17,1 bc	47,78 a
CER	17,4 abc	41,93 ab

\*: significativo a 5%; \*\*: significativo a 1% pelo teste F.

<sup>1</sup> GP: preparo do solo com grade pesada e cultivado com leguminosas há doze anos; AD: preparo do solo com arado de discos e cultivado com leguminosas há doze anos; ESC: preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o cultivo mínimo com escarificador, com alternância bienal de gramíneas e leguminosas; PD1: preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o plantio direto, com alternância bienal de gramíneas e leguminosas; PD2: preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o plantio direto, com alternância bienal no verão de gramíneas e leguminosas, combinada com safrinha de leguminosas e gramíneas, respectivamente; PD3: preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o plantio direto, com alternância anual de gramíneas e leguminosas; PAST: preparo com arado de discos e cultivo de gramíneas nos dois primeiros anos e arado de aivecas com leguminosas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se pastagem, sem pastejo animal; CER: área de Cerrado *strictu sensu* contígua à área experimental, utilizada como ambiente de referência.

<sup>2</sup> Valores seguidos da mesma letra na coluna não apresentam diferenças significativas entre si pelo teste t a 5%.

Considerando-se o comportamento médio do perfil ( $p_0$ ), a matéria orgânica particulada apresentou maior relação C:N do que a do solo, com exceção do sistema AD. Enquanto que, na MOS, não houve diferença na relação C:N (COT:NT) entre o CER e os demais sistemas, na particulada, o CER apresentou maior relação que os sistemas GP, AD, PD1 e PD3. A pastagem apresentou maior relação COP:NP que os demais sistemas

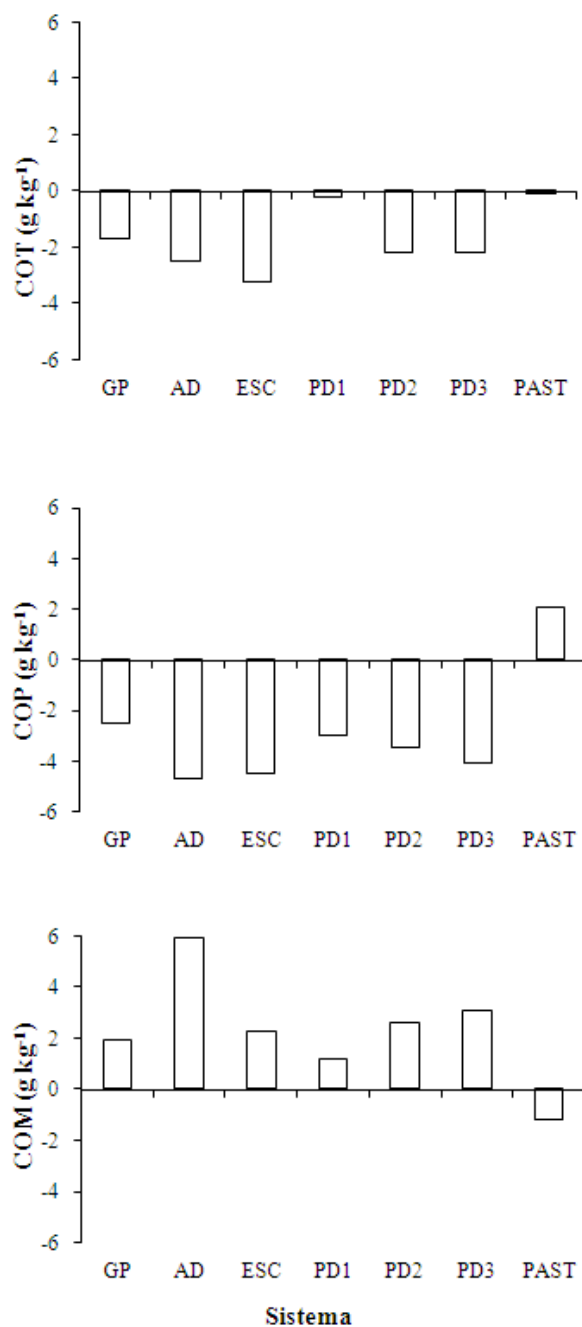
manejados e não diferiu do CER. Essa diferença entre o sistema PAST e os demais pode ser justificada pelo tipo de resíduo que entra no solo. Enquanto os sistemas agrícolas utilizam soja como leguminosa com baixa relação C:N, as pastagens apresentam elevada relação C:N nos seus tecidos que, ao serem adicionados ao solo, apresentam tempo de decomposição menor. No caso da soja, seus resíduos apresentam elevados teores de compostos solúveis e nitrogênio e baixos teores de celulose e cinzas, refletindo em rápida decomposição quando comparada às gramíneas (Moreira & Siqueira, 2002).

Esses resultados demonstram, ainda, a importância do fracionamento da matéria orgânica para melhor entender as alterações na qualidade da matéria orgânica provocadas pelo manejo do solo no Cerrado.

O balanço, no perfil (p<sub>0</sub>), dos teores médios de C nas frações da MOS foi calculado pela diferença entre os sistemas de manejo e o cerrado nativo (Figura 3.5). Esse balanço tem caráter informativo e permite uma estimativa do incremento ou da redução das frações de C do solo (Rangel & Silva, 2007).

Tendo o sistema CER como referência, pode-se afirmar que, após doze anos de manejo, em geral, houve diminuição de COT e COP em sistemas agrícolas com uso de gramíneas e leguminosas (milho e soja) e transformação da matéria orgânica para formas estáveis associadas aos minerais (COM). A pastagem apresentou-se como sistema benéfico para recuperar os conteúdos de C perdidos pelo cultivo, principalmente na forma de matéria orgânica particulada. O uso do arado de discos para preparo do solo a cada safra promoveu oxidação de parte da matéria orgânica particulada e aumentou o processo de interação organo-mineral (COM), confirmando resultados de Freitas et al. (2000). Em condições tropicais do Nordeste brasileiro, Silva et al. (2007) verificaram que o cultivo, por vinte cinco anos, com cana-de-açúcar promoveu maiores teores de COM, quando comparado à mata nativa, na camada até 20 cm. Esses autores concluíram que o cultivo diminuiu os teores de COP em 42%, quando comparado à mata nativa.

Como no presente trabalho não foram determinados os teores de C total e associado aos minerais nas classes de agregados, as discussões são realizadas considerando-se apenas a participação do COP no processo de agregação do solo.



**Figura 3.5.** Balanço, no perfil ( $p_0$ ), dos teores médios de C nas frações da matéria orgânica do solo, calculado pela diferença entre os sistemas de manejo e o cerrado nativo (referência = 0). Valores positivos indicam que houve acréscimo e negativos, perdas de C com o manejo do solo.

Os sistemas de manejo apresentaram diferenças quanto às concentrações de COP nas diferentes classes de agregados, avaliadas pelas concentrações médias no perfil ( $p_0$ ). Em geral, as maiores concentrações de COP, para os diferentes sistemas, foram verificadas nos agregados entre 2-8 mm (COPA1) (Tabela 3.6). O sistema PAST apresentou as maiores concentrações de COPA1, inclusive superiores ao CER. Isto não se

repetiu nos valores de COPA2, demonstrando que o mecanismo de formação de agregados maiores (2-8 mm) em pastagens envolve a participação da matéria orgânica particulada. Em resultados de Ashagrie et al. (2007), o efeito do cultivo foi mais pronunciado na matéria orgânica particulada associada a macroagregados do que nas frações associadas a microagregados. A participação de COP demonstrou ser o principal mecanismo de formação de agregados maiores a partir de microagregados (Jastrow, 1996).

**Tabela 3.6.** Comparação do parâmetro  $p_0$  da regressão  $y = p_{0M} + p_{1X_L} + p_{2X_Q} + p_{3X_C}$  para carbono orgânico particulado (COPA) em diferentes classes (COPA1, COPA2 e COPA3) e diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados em oito sistemas de manejo do solo.

Sistema	COPA1 (**) (g kg <sup>-1</sup> )	COPA2 (*) (g kg <sup>-1</sup> )	COPA3 (ns) (g kg <sup>-1</sup> )	DMP(**) (mm)
GP <sup>1</sup>	6,00 de <sup>2</sup>	4,5 ab	2,1	1,11 e
AD	8,00 bc	5,4 a	2,1	1,18 e
ESC	5,70 e	4,4 ab	1,7	1,11 e
PD1	7,30 cd	3,9 b	1,9	1,41 bc
PD2	5,40 e	4,2 ab	1,8	1,34 cd
PD3	4,90 e	3,4 b	1,6	1,55 b
PAST	10,9 a	4,2 ab	1,4	1,85 a
CER	8,80 b	5,3 a	2,9	1,84 a

\*: significativo a 5%; \*\*: significativo a 1%; ns: não-significativo pelo teste F.

COPA1: carbono orgânico particulado na classe de agregados de 2-8 mm; COPA2: carbono orgânico particulado na classe de agregados de 0,5-1 mm; COPA3: carbono orgânico particulado na classe de agregados de 0,106-0,25 mm.

<sup>1</sup> GP: preparo do solo com grade pesada e cultivado com leguminosas há doze anos; AD: preparo do solo com arado de discos e cultivado com leguminosas há doze anos; ESC: preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o cultivo mínimo com escarificador, com alternância bienal de gramíneas e leguminosas; PD1: preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o plantio direto, com alternância bienal de gramíneas e leguminosas; PD2: preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o plantio direto, com alternância bienal no verão de gramíneas e leguminosas, combinada com safrinha de leguminosas e gramíneas, respectivamente; PD3: preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o plantio direto, com alternância anual de gramíneas e leguminosas; PAST: preparo com arado de discos e cultivo de gramíneas nos dois primeiros anos e arado de aivecas com leguminosas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se pastagem, sem pastejo animal; CER: área de Cerrado *strictu sensu* contígua à área experimental, utilizada como ambiente de referência.

<sup>2</sup> Valores seguidos da mesma letra na coluna não apresentam diferenças significativas entre si pelo teste t a 5%.

As baixas concentrações de COPA1 nos sistemas sob plantio direto, se comparados à pastagem e ao cerrado nativo, podem ser explicadas pela qualidade dos resíduos que entram no sistema solo. De acordo com Sá et al. (2008), o tipo de resíduo

aportado no plantio direto apresenta fluxo mais rápido de decomposição do que os resíduos de matas naturais, que apresentam fluxos mais lentos. Dessa forma, boa parte desses resíduos decompõe-se antes mesmo de serem protegidos em agregados.

Em relação a COPA2, pouca diferença foi encontrada entre os sistemas, demonstrando que a matéria orgânica particulada tem pequena influência na formação desta classe de agregados. Nessa classe, o sistema com revolvimento anual do solo (AD) apresentou os mesmos valores de COP que o CER, e valores superiores aos sistemas sob plantio direto (PD1 e PD2). Como o AD apresentou baixos teores de COP na amostra completa (*bulk sample*) (Tabela 3.3) e pequeno diâmetro médio ponderado de agregados (Tabela 3.6), pode-se inferir que, nesse sistema, apesar da quebra de agregados pelo cultivo, a matéria orgânica particulada restante encontra-se protegida em agregados, principalmente na classe de 1 a 2 mm (COPA2). Além disso, a quebra de agregados pelo revolvimento expõe o COP ao ataque microbiano, diminuindo suas concentrações, perdidas pela oxidação biológica do solo, sendo transformado em matéria orgânica associada aos minerais (Tabela 3.3).

Os modelos de regressão não foram significativos (pelo teste F) para nenhum dos parâmetros estimadores da variável COPA3. Porém, mesmo não sendo significativos, os resultados demonstram a pequena participação do COP na parcela de microagregados analisada (0,106-0,25 mm) (Tabela 3.6), confirmando as baixas concentrações de COP em profundidade.

Ainda na Tabela 3.6, são apresentados os valores do diâmetro médio ponderado (DMP), representados pelo comportamento médio no perfil ( $p_0$ ) nos diferentes sistemas. Três distintos grupos de sistemas são formados quanto ao tamanho dos agregados no solo: os sistemas CER e PAST apresentaram os maiores valores (1,84 e 1,85 mm, respectivamente); sistemas sob plantio direto apresentaram valores intermediários (PD3, PD1 e PD2: 1,55; 1,41 e 1,34 mm, respectivamente); e os sistemas com revolvimento anual do solo, os menores valores (AD, GP e ESC: 1,18; 1,11 e 1,11 mm, respectivamente). Esses resultados demonstram um típico impacto das operações de revolvimento na quebra de agregados estáveis, já relatado por diversos autores (Freibauer et al., 1999; Ashagrie et al., 2007; Resck et al., 2008; Sá et al., 2008; Salton et al., 2008). O cultivo, em estudo de Ashagrie et al. (2007), diminuiu de 70% para 50% a proporção de macroagregados estáveis em água em relação à mata natural.

No presente trabalho, em relação ao cerrado nativo, o cultivo com preparo

convencional do solo promoveu redução de 38,4% no DMP dos agregados (Tabela 3.6). A pastagem permanente apresentou valor de DMP superior a outros sistemas de manejo, fato já observado por Salton et al. (2008) em sistema sob integração lavoura-pecuária.

O fato de o sistema PAST não diferir do CER no tamanho de agregado (DMP), mas apresentar maior concentração de COPA1, mostra que a relação direta entre COP e DMP é o caminho utilizado pelo sistema PAST para proteger o C no solo. Relação semelhante foi encontrada por Freibauer et al. (1999), cuja forma dominante de matéria orgânica nas pastagens foi a particulada livre. Esses autores verificaram que, após quatro anos de conversão do cerrado nativo para pastagem, o DMP permaneceu o mesmo, enquanto o cultivo com a rotação soja/milho promoveu a diminuição do DMP. Lal (2006) afirma que a habilidade para formar agregados é um dos fatores que afetam as taxas de seqüestro de C no solo.

Os coeficientes de correlações de Pearson entre as diferentes variáveis são apresentados na Tabela 3.7. Considerando-se todos os sistemas e profundidades em conjunto, verifica-se correlação positiva entre COT e COP ( $r = 0,72$ ;  $p < 0,01$ ), mostrando a importância da fração particulada na matéria orgânica total no solo estudado.

**Tabela 3.7.** Coeficientes de correlação de Pearson para as variáveis analisadas, considerando-se todos os sistemas de manejo do solo em conjunto.

Variável	COT	NT	COT:NT	COP	NP	COP:NP	COM	COM:NM	COP:COT	COPA1	COPA2
<b>COT</b>											
<b>NT</b>	0,86**										
<b>COT:NT</b>	-0,46**	-0,76**									
<b>COP</b>	0,72**	0,55**	-0,24*								
<b>NP</b>	0,19 <sup>ns</sup>	0,50**	-0,24*	0,70**							
<b>COP:NP</b>	0,19 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,36**	-0,26**						
<b>COM</b>	-0,11 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	-0,09 <sup>ns</sup>	-0,67**	-0,43**	-0,33**					
<b>COM:NM</b>	-0,64**	-0,34**	0,59**	-0,76**	-0,34**	-0,51**	0,47**				
<b>COP:COT</b>	0,64**	0,47**	-0,21*	0,95**	0,69**	0,39**	-0,72**	-0,73**			
<b>COPA1</b>	0,55**	0,49**	-0,19 <sup>ns</sup>	0,58**	0,47**	0,24*	-0,34**	-0,53**	0,57**		
<b>COPA2</b>	0,60**	0,61**	-0,37**	0,64**	0,64**	0,06 <sup>ns</sup>	-0,28**	-0,54**	0,58**	0,61**	
<b>COPA3</b>	0,36**	0,40**	-0,31**	0,33**	0,28**	0,06 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	-0,36**	0,26**	0,37**	0,52**

\*, \*\*: significativo a 5% e 1%, respectivamente; ns: não-significativo pelo teste F.

COT: carbono orgânico total; NT: nitrogênio total; COP: carbono orgânico particulado; NP: nitrogênio particulado; COM: carbono orgânico associado aos minerais; NM: nitrogênio associado aos minerais; COPA1: carbono orgânico particulado na classe de agregados de 2-8 mm; COPA2: carbono orgânico particulado na classe de agregados de 0,5-1 mm; COPA3: carbono orgânico particulado na classe de agregados de 0,106-0,25 mm.

Entre COP e COM, essa relação foi negativa ( $r = -0,67$ ;  $p < 0,01$ ), indicando que os processos de formação dessas frações são opostos. A associação da matéria orgânica aos minerais do solo, nos tamanhos silte e argila (COM), é dependente da decomposição (diminuição) da matéria orgânica particulada.

Os teores de carbono particulado nas três classes de agregados (COPA1, COPA2 e COPA3) se correlacionaram positivamente com COT, NT, COP e NP, e, negativamente, com o carbono associado aos minerais (COM). Esses resultados reforçam a importância da matéria orgânica particulada para a formação de agregados em latossolos do Cerrado, sem diminuir, porém, a importância do COM como potencial para a formação das cargas efetivas do solo. Deve-se ressaltar, entretanto, que a correlação entre COPA3 e COP, apesar de positiva, foi baixa ( $r = 0,33$ ). Esta constatação pode ser justificada pela maior participação do COM na formação de microagregados de solos tropicais, já verificada por outros autores (Zotarelli et al., 2007).

### 3.4 CONCLUSÕES

- Alterações nos teores de carbono orgânico pelo uso do solo no Cerrado ocorrem, principalmente, na fração particulada da matéria orgânica ( $> 53 \mu\text{m}$ ).
- O uso de pastagens bem manejadas promove aumento dos teores de matéria orgânica particulada e a associação com agregados maiores (2-8 mm).
- Com o uso freqüente de arado de discos no preparo do solo, ocorre aumento dos teores de matéria orgânica associada aos minerais.
- Nas condições edafoclimáticas do Cerrado, a instalação do sistema de plantio direto precedido de correção química e estrutural do solo promove uma distribuição mais uniforme da matéria orgânica particulada no perfil.

### 3.5 REFERÊNCIAS

ADÁMOLI, J.; MACEDO, J.; AZEVEDO, L. G.; MADEIRA NETO, J. Caracterização da região dos Cerrados. In: GOEDERT, W. J. **Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo**. Planaltina: Embrapa-CPAC; São Paulo: Nobel, 1986. p.33-74.

ASHAGRIE, Y.; ZECH, W.; GUGGENBERGER, G.; MAMO, T. Soil aggregation, and total and particulate organic matter following conversion of native forests to continuous cultivation in Ethiopia. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 94, n. 1, p.101-108, 2007.

BALDOCK, J. A. Interactions of organic materials and microorganisms with minerals in the stabilization of soil structure. In: HUANG, P. M.; BOLLAG, J. M.; SENESI, N. (Ed.). **Interactions between soil particles and microorganisms: Impacts on the terrestrial ecosystem**. IUPAC Series on analytical and physical chemistry of environmental systems. v. 8, p. 58-132, 2002.

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.

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, v. 39, n. 7, p. 677-683, 2004.

BONGIOVANNI, M. D.; LOBARTINI, J. C. Particulate organic matter, carbohydrate, humic acid contents in soil macro- and microaggregates as affected by cultivation. **Geoderma**, Amsterdam, v. 136, n. 3-4, p. 660-665, 2006.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, n. 3, p. 777-783, 1992.

CARNEIRO, M. A. C.; ASSIS, P. C. R.; MELO, L. B. C.; PEREIRA, H. S.; PAULINO, H. B.; SILVEIRA NETO, A. N. Atributos bioquímicos em dois solos de cerrado sob diferentes sistemas de manejo e uso. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 38, n. 4, p. 276-283, 2008.

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**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009.

COLWELL, J. D. **Computations for studies of soil fertility and fertilizer requirements**. Camberra: CSFRO Division of Soils, A.C.T. Australia Commonwealth Agricultural Bureau, 1978. 297 p.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 777-788, 2005.

CORAZZA, E. J.; SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 425-432, 1999.

COSTA, F. S.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J. A.; FONTOURA, S. M. V. Aumento de matéria orgânica num Latossolo Bruno em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 2, p. 587-589, 2004.

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.



EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

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**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1625-1635, 2007.

FREIBAUER, A.; WESTERHOF, R.; AYARZA, M. A.; SILVA, J. E.; ZECH, W. Short-term variation in aggregation and particulate organic matter under crops and pastures. In: THOMAS, R.; AYARZA, M. A. **Dinamics of soil organic matter and indicators of soil quality: Sustainable land manager for the Oxisols of the Latin America Savanas**. Cali: CIAT, 1999. p. 77-88.

FREITAS, P. L.; BLANCANEUX, P.; GAVINELLI, E.; LARRÉ-LARROUY, M.; FELLER, C. Nível e natureza do estoque orgânico de latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 1, p. 157-170, 2000.

GJETTERMANN, B.; STYCZEN, M.; HANSEN, H. C. B.; VINTHER, F. P.; HANSEN, S. Challenges in modelling dissolved organic matter dynamics in agricultural soil using DAISY. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 40, n. 6, p. 1506-1518, 2008.

JANTALIA, C. P.; RESCK, D. V. S.; ALVES, B. J. R.; ZOTARELLI, L.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Tillage effect on C stocks of a clayey Oxisol under a soybean-based crop rotation in the Brazilian Cerrado region. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 95, n. 1-2, p. 97-109, 2007.

JASTROW, J. D. Soil aggregate formation and the accrual of particulate and mineral-associated organic matter. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 28, n. 4-5, p. 665-676, 1996.

LAL, R. Soil carbon sequestration in Latin America. In: LAL, R.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; ETCHEVES, J.; CERRI, E. **Carbon sequestration in soils of Latin America**. New York: Food Products Press, 2006. p. 49-64.

MARCHÃO, R. L.; BECQUER, T.; BRUNET, D.; BALBINO, L. C.; VILELA, L.; BROSSARD, M. Carbon and nitrogen stocks in a Brazilian clayey Oxisol: 13-year effects of integrated crop-livestock management systems. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, 2008. Disponível em: <[www.sciencedirect.com/science/journal/01671987](http://www.sciencedirect.com/science/journal/01671987)>. Acesso em: 10 mar. 2009.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2002. 625 p.

PORTUGAL, A. F.; JUCKSCH, I.; SCHAEFER, C. E. G. R.; WENDLING, B. Determinação de estoques totais de carbono e nitrogênio e suas frações em sistemas agrícolas implantados em Argissolo Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 2091-2100, 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**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1609-1623, 2007.

RESCK, D. V. S. O plantio direto como alternativa de sistema de manejo e conservação do solo e da água na região dos Cerrados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, CBCS, 1997. 1 CD-ROM.

RESCK, D. V. S. Agricultural intensification systems and their impact on soil and water quality in the Cerrados of Brazil. In: LAL, R. (Ed.). **Soil quality and agricultural sustainability**. Michigan: Ann Arbor, 1998. p. 288-300.

RESCK, D. V. S.; FERREIRA, E. A. B.; FIGUEIREDO, C. C.; ZINN, Y. L. Dinâmica da matéria orgânica no Cerrado. 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. 359-417.

ROSCOE, R.; BUURMAN, P. Tillage effects on soil organic matter dynamics in density fractions of a cerrado Oxisol. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 70, n. 2, p. 107-119, 2003.

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

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

SÁ, J. C. M.; SÁ, M. F. M.; SANTOS, J. F.; OLIVEIRA, A. Dinâmica da matéria orgânica nos Campos Gerais. 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. 443-461.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRÍCIO, A. A.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 11-21, 2008.

SILVA, A. J. N.; RIBEIRO, M. R.; CARVALHO, F. G.; SILVA, V. N.; SILVA, L. E. S. F. Impact of sugarcane cultivation on soil carbon fractions, consistence limits and aggregate stability of a Yellow Latosol in Northeast Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 94, n. 2, p. 420-424, 2007.

SILVA, J. E.; LEMAINSKI, J.; RESCK, D. V. S. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de Cerrados do Oeste Baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 18, n. 3, p. 541-547, 1994.

SIX, J.; FELLER, C.; DENEFF, K.; OGLE, S. M.; SÁ, J. C. M.; ALBRECHT, A. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils-effects of no-tillage. **Agronomie**, Davis, v. 22, n. 7-8, p. 755-775, 2002.

STEVENSON, F. J.; COLE, M. A. **Cycles of soils: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients**. 2. ed. New York: J. Wiley, 1999. 427 p.

VIEIRA, F. C. B.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; DIECKOW, J.; MIELNICZUK, J.; HE, Z. L. Carbon management index based on physical fractionation of soil organic matter in an Acrisol under long-term no-till cropping systems. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 96, n. 1-2, p. 195-204, 2007.

ZOTARELLI, L.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; SIX, J. Impact of tillage and crop rotation on light fraction and intra-aggregate soil organic matter in two Oxisols. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 95, n. 1-2, p. 196-206, 2007.

## **4 BIOMASSA E ATIVIDADE MICROBIANA DO SOLO SOB SISTEMAS DE MANEJO E VEGETAÇÃO NATURAL DE CERRADO**

### **RESUMO**

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes sistemas de manejo e de uma área sob vegetação natural na biomassa e na atividade microbiana do solo no Cerrado. Foram determinados o carbono orgânico total, o carbono e o nitrogênio da biomassa microbiana e suas relações, a respiração basal e o quociente metabólico. Utilizaram-se oito tratamentos: sete com sistemas de manejo do solo e um com cerrado nativo, como referência. O experimento foi projetado para estudar a dinâmica de sistemas de preparo do solo e a rotação de culturas, com alternância no tempo e no espaço. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com três repetições. As amostras de solo foram coletadas em cinco profundidades: 0-5, 5-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm. A conversão de áreas de cerrado nativo para sistemas agrícolas promoveu a diminuição da biomassa microbiana do solo. Os sistemas de manejo apresentaram diferenças quanto a: teores de carbono e nitrogênio microbianos, atividade microbiana e carbono orgânico e nitrogênio total do solo. O uso de pastagens manejadas aumenta os teores de carbono e nitrogênio da biomassa microbiana

*Palavras-chave:* plantio direto, pastagem, respiração basal, Latossolo.

### **ABSTRACT**

#### **MICROBIAL BIOMASS AND ACTIVITY IN SOIL UNDER MANAGEMENT SYSTEMS AND NATURAL CERRADO VEGETATION**

The objective of this work was to evaluate the effect of different management systems and natural Cerrado vegetation on soil microbial biomass and activity. Total organic carbon, microbial biomass carbon and nitrogen and their relations, basal respiration and metabolic quotient were determined. Eight treatments were used: seven soil management systems and an undisturbed area of Savanna type vegetation, Cerrado as a reference. The experiment was established in a randomized block design with three replicates to study soil tillage and crop rotation dynamics, with temporal and spatial alternation. Soil samples were taken at five depths: 0-5, 5-10, 10-20, 20-30 and 30-40 cm. The conversion of native cerrado area to agricultural systems reduces soil microbial biomass. Management systems show differences in relation to microbial carbon and nitrogen contents, microbial activity and total soil organic carbon and nitrogen. Managed pasture increases microbial biomass carbon and nitrogen contents.

*Key words:* no-till, pasture, basal respiration, Latosol.

## 4.1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a incorporação de áreas de Cerrado ao processo produtivo tem promovido aumento da produção dos principais produtos agrícolas mundiais, com destaque para a cultura da soja. Nesse domínio, o uso do solo para as atividades agrossilvipastoris tem sido acompanhado por diversas alterações, com destaque para os teores de MOS, provocados pelo manejo inadequado do solo. De acordo com Lal (2006), a magnitude dessas perdas pode variar de 25% a 75%, dependendo do sistema de manejo do solo, dos teores iniciais de matéria orgânica e das condições climáticas.

Perdas de MOS têm sido verificadas na ocorrência de mudança de áreas nativas de Cerrado para áreas agrícolas (Jantalia et al., 2007; Ferreira et al., 2007). A magnitude dessas alterações é dependente dos sistemas de manejo (Corazza et al., 1999; Resck et al., 2008) e das culturas adotadas (Bayer et al., 2004). Nos solos do Cerrado, há elevada interação da matéria orgânica com os minerais de argila e óxidos de ferro e alumínio, o que pode representar 90% do carbono orgânico total (COT) (Rangel & Silva, 2007). Isto faz com que alterações nos estoques totais de carbono do solo possam não ser verificadas, mesmo após trinta anos sob cultivo (Roscoe & Buurman, 2003). Assim, o estudo de frações vivas e lábeis da matéria orgânica tem sido utilizado para melhor detectar alterações causadas pelo manejo do solo.

A biomassa microbiana (BM) representa um importante componente da matéria orgânica. É sensível às mudanças ocasionadas pelos diferentes sistemas de manejo do solo na conversão de áreas nativas para a agricultura (Powlson & Jenkinson, 1981; De-Polli & Guerra, 2008). Recentemente, Sá & Lal (2009) verificaram que, entre as diferentes frações da MOS, os atributos microbiológicos foram os mais sensíveis para demonstrar as taxas de estratificação da matéria orgânica em áreas nativas e manejadas.

Além dos conteúdos de carbono e nitrogênio da biomassa microbiana (CBM e NBM, respectivamente), diversas relações têm sido usadas a partir desses conteúdos microbianos, relacionadas com os teores de carbono orgânico total e nitrogênio total do solo (COT e NT, respectivamente) (Carneiro et al., 2008). Entre essas relações, as freqüentemente usadas são: CBM:NBM, CBM:COT, NBM:NT. Essas relações podem indicar o estado da comunidade microbiana, a qualidade da matéria orgânica, além de expressar as tendências de mineralização e imobilização de N (Campbell et al., 1991).

A relação CBM:NBM, por exemplo, pode sofrer alterações em função do tipo

de manejo aplicado (Moore et al., 2000). Alta relação CBM:NBM indica que a comunidade microbiana contém maior proporção de fungos, enquanto que baixo valor sugere que as bactérias predominam (Campbell et al., 1991). Essa relação é influenciada pelas propriedades do solo, como a relação entre microrganismos ativos e dormentes (Campbell et al., 1991). Estimativa da atividade microbiana pode ser obtida pela determinação da respiração dos microrganismos, chamada de respiração basal (De-Polli & Guerra, 2008).

Os estudos com BM em solos do Cerrado têm indicado diminuição dos teores de CBM e NBM, na passagem de cerrado nativo para a agricultura (Perez et al., 2004; Perez et al., 2005; Figueiredo et al., 2007; Ferreira et al., 2007; Carneiro et al., 2008; Carneiro et al., 2009). De acordo com Mendes (2002), o desmatamento e a introdução de cultivo com arado de discos reduzem significativamente os teores de CBM, sendo 17% aos quinze dias (0-20 cm), 43% aos três meses (0-5 cm), atingindo 76% um ano após o desmatamento (0-5 cm). Esses resultados evidenciam a sensibilidade do CBM às alterações ambientais do solo.

A busca por sistemas de manejo do solo adequados ao Cerrado deve, portanto, considerar alterações na MOS, utilizando a BM como indicador sensível a essas alterações. O objetivo deste trabalho foi avaliar a atividade e biomassa microbiana de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de manejo e vegetação natural de Cerrado.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.2.1 **Localização e caracterização da área experimental e dos sistemas de manejo estudados**

O detalhamento das informações sobre localização e caracterização da área experimental, bem como a descrição dos sistemas de manejo estudados neste capítulo, encontram-se nos itens 3.2.1 e 3.2.2 do Capítulo 3 deste trabalho.

#### **4.2.2 Época e profundidades de amostragem do solo e condução das culturas**

Em cada parcela, cinco subamostras coletadas aleatoriamente formaram uma amostra composta, que se constituiu na repetição do tratamento. Esta coleta foi realizada em fevereiro de 2008, por ocasião da floração da soja, em cinco profundidades: 0-5; 5-10; 10-20; 20-30 e 30-40 cm.

A soja cultivar Conquista foi plantada em 28 de novembro de 2007. O espaçamento utilizado foi de 45 cm entre linhas e quinze plantas por metro. As sementes foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*, utilizando-se as estirpes SEMIA 5080 e SEMIA 5079, na concentração de 0,5 kg de inoculante para cada 40 kg de sementes. Essas sementes foram tratadas com fungicida carboxin na dosagem de 200 mL para cada 100 kg de sementes. A adubação de plantio, comum a todos os tratamentos com soja, foi de 400 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 0-20-20 mais 50 kg ha<sup>-1</sup> de FTE BR 12, com a seguinte composição: 1,8% de boro, 0,8% de cobre, 3% de ferro, 2% de manganês, 0,1% de molibdênio e 9% de zinco. Como tratamento fitossanitário, foi realizada aplicação de fungicida composto de epoxiconazole e pyraclostrobin na dosagem de 0,5 L ha<sup>-1</sup>. A colheita foi realizada em 17 de abril de 2008. As produtividades da soja nos diferentes sistemas de manejo são apresentadas no Apêndice C.

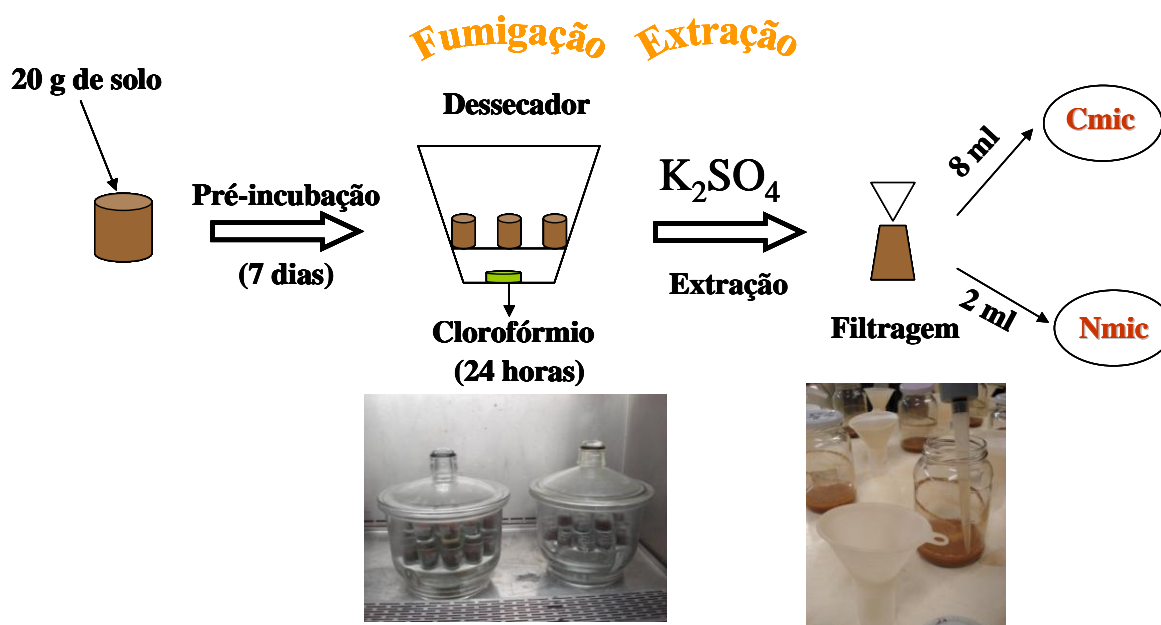
A pastagem utilizada no tratamento PAST foi a *Brachiaria brizantha*, plantada com espaçamento de 45 cm entre linhas e 25 kg de sementes por hectare. A adubação utilizada anualmente é de 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, cuja fonte foi o superfosfato simples, 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e 60 kg ha<sup>-1</sup> de N (sulfato de amônio). A pastagem não sofre pastejo animal. Foram realizados dois cortes manuais por ano, sendo um em fevereiro/março e outro em julho/agosto.

#### **4.2.3 Avaliação da biomassa microbiana do solo**

A biomassa microbiana do solo (BMS) foi estimada pelo uso do método de fumigação-extração (Vance et al., 1987). CBM e NBM foram determinados em conjunto, utilizando-se a mesma amostra de solo e obedecendo a uma relação solo:extrator de 1:2,5 (De-Polli & Guerra, 2008). As amostras, após a coleta, foram imediatamente levadas para uma câmara fria, permanecendo armazenadas sob temperatura de aproximadamente 4°C,

por um período de quatro meses até o momento das análises. Os resíduos da cultura, como raízes e restos vegetais, foram removidos cuidadosamente das amostras de solo, antes de estas serem passadas em peneira de 8 mm de malha. Uma seqüência com os procedimentos de separação das amostras é apresentada no Apêndice D.

Foram pesadas seis subamostras de 20 g de solo para cada amostra de campo (em triplicata), com teor de água ajustado para estar em equilíbrio com uma tensão de 30 kPa (~ 80% da capacidade de campo do solo). Essas amostras foram pré-incubadas à temperatura ambiente ( $26 \pm 2^\circ\text{C}$ ), por sete dias, em recipientes fechados de 600 mL, no escuro. Após esse período, três subamostras foram fumigadas (F) em um dessecador contendo uma placa de Petri com 25 mL de clorofórmio isento de etanol ( $\text{CHCl}_3$ ), por 24 h. As outras subamostras não-fumigadas (NF) foram mantidas em temperatura ambiente. Após a fumigação, as subamostras F e NF foram submetidas à agitação horizontal (150 rpm) por 30 min, na presença de 50 mL de solução extratora ( $\text{K}_2\text{SO}_4$   $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ ). Em seguida, as subamostras foram filtradas em papel de filtro qualitativo. As etapas para determinação da BMS são ilustradas na Figura 4.1.



**Figura 4.1.** Etapas de determinação da biomassa microbiana do solo.

#### 4.2.4 Carbono da biomassa microbiana

O CBM foi determinado de acordo com Vance et al. (1987). Uma alíquota de 8 mL do extrato filtrado foi utilizada. A esta alíquota foram acrescentados 2 mL de



$K_2Cr_2O_7$   $0,4 \text{ mol L}^{-1}$  e 15 mL de uma mistura 1:2 (v/v) de  $H_3PO_4/H_2SO_4$  em *erlenmeyers* de 250 mL. Esta solução foi fervida por trinta minutos, resfriada e diluída com 20 mL de água destilada. O dicromato residual foi quantificado por titulação com uma solução de sulfato ferroso amoniacal  $[(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O]$  em  $H_2SO_4$  concentrado, na presença de um indicador composto por fenantrolina  $0,075 \text{ mol L}^{-1}$  e sulfato ferroso  $0,041 \text{ mol L}^{-1}$ .

A quantidade de CBM foi determinada pela diferença entre o carbono extraído das amostras de solo F e NF, usando-se um fator de correção ( $k_C$ ) de 0,35 (Joergensen, 1996).

#### **4.2.5 Nitrogênio da biomassa microbiana**

O NBM foi determinado de acordo com Brookes et al. (1985), para isso, utilizou-se outra alíquota de 20 mL do extrato filtrado. Determinou-se o N total dos extratos F e NF pelo emprego do método Kjeldahl, da seguinte forma: transferiu-se a alíquota para um tubo de vidro na presença de 3 mL  $H_2SO_4$  concentrado e de 1 g de mistura catalítica ( $K_2SO_4$ :  $CuSO_4$ : Se em pó, na relação 1: 0,1: 0,01). Em seguida, os tubos foram acondicionados em um bloco digestor. Realizou-se uma pré-digestão a  $80^\circ C$  por uma noite. Na sequência, a temperatura foi mantida a  $150^\circ C$  durante 1 h e 30 min, sendo a digestão concluída a  $300^\circ C$ , durante 3 h. Iniciou-se, depois, a destilação com 20 mL de  $NaOH$   $400 \text{ g L}^{-1}$ , recolhendo-se o destilado em erlenmeyer de 50 mL contendo 10 mL de  $H_3BO_3$  ( $20 \text{ g L}^{-1}$ ), na presença de um indicador composto por verde de bromocresol ( $0,1 \text{ dag L}^{-1}$ ) e vermelho de metila ( $0,1 \text{ dag L}^{-1}$ ), procedendo-se, então, à titulação com  $H_2SO_4$   $0,0025 \text{ mol L}^{-1}$ . O NBM foi calculado pela diferença entre a quantidade de N recuperado no extrato da amostra F e o recuperado na amostra NF, multiplicado pelo fator de correção ( $k_N$ ) igual a 0,54, preconizado por Brookes et al. (1985).

#### **4.2.6 Respiração basal**

A respiração do solo foi determinada em subamostras de solo de 20 g, que foram incubadas, por sete dias, em frascos de vidro providos de tampa vedante de 500 mL, contendo um frasco com 10 mL de  $KOH$   $0,3 \text{ mol L}^{-1}$ , que tem por finalidade a absorção de  $CO_2$  liberado do solo. Após o período de incubação, retirou-se o frasco com a solução de

KOH e adicionou-se 3 mL de BaCl<sub>2</sub> e três gotas do indicador fenolftaleína. A quantidade de CO<sub>2</sub> liberado do solo foi determinada após titulação do excedente de KOH com solução de HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup>. Os resultados obtidos foram expressos em mg de C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> solo seco dia<sup>-1</sup>, conforme preconiza metodologia descrita por Alef & Nannipiere (1995).

#### **4.2.7 Quociente metabólico**

O quociente metabólico (QMb) foi calculado pela a razão entre o C-CO<sub>2</sub> liberado pela respiração basal e o CBM, de acordo com Anderson & Domsch (1993).

#### **4.2.8 Carbono orgânico total e nitrogênio total**

As análises de carbono orgânico total e nitrogênio total foram realizadas por combustão via seca, em analisador Perkin Elmer CHNS, utilizando-se aproximadamente 20 mg de material previamente moído em almofariz e passado em peneira de 0,149 mm.

#### **4.2.9 Análises estatísticas**

As comparações das variáveis nos perfis de solo nos diferentes sistemas de manejo foram realizadas pelos modelos de regressões polinomiais. Utilizou-se o programa denominado “Profile” (Colwell, 1978) para diferenciação estatística dos tratamentos, por meio da análise de variância dos valores dos parâmetros de uma regressão polinomial ortogonal, em que y representa os atributos do solo (CBM, NBM, CBM/NBM, RB, CMb, CBM/COT, COT e NT) e x representa os valores nas profundidades consideradas neste estudo.

Utilizou-se também a regressão não-ortogonal  $\hat{y} = b_0 + b_1x + b_2x_2 + b_3x_3$ , conforme descrito no item 3.2.7 do Capítulo 3.

A análise de “Profile” possibilita o acompanhamento da dinâmica das diferentes variáveis no perfil do solo razão pela qual foi utilizada neste estudo. Esse tipo de análise tem sido adotada em diversos estudos com sistemas de manejo do solo (Corazza et al., 1999; Figueiredo et al., 2007; Ferreira et al., 2007).

Foram determinados ainda os coeficientes de correlação de Pearson para as variáveis analisadas.

## 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.3.1 Carbono da biomassa microbiana

Os sistemas de manejo e o cerrado nativo apresentaram teores diferenciados de CBM. Os valores de  $p_0$  (que representa o comportamento médio da variável na profundidade 0-40 cm) variaram de 73,96 mg C kg<sup>-1</sup> solo no sistema com arado de discos anual (AD) a 262,87 mg C kg<sup>-1</sup> solo no cerrado nativo (CER) (Tabela 4.1). Excluindo-se o sistema sob pastagens (PAST), o solo sob CER apresentou valores de CBM mais elevados que os demais sistemas manejados, indicando declínio do carbono microbiano após a derrubada da área nativa de cerrado e a instalação desses sistemas de manejo.

Essa diminuição dos valores de CBM também foi verificada em diferentes estudos no Cerrado (Perez et al., 2004; Costa et al., 2006; Ferreira et al., 2007; Silva et al., 2007; Carneiro et al., 2008; Carneiro et al., 2009) e em outras partes do mundo (Guggenberger et al., 1999), e relatada para outros biomas/regiões brasileiras por Roscoe et al. (2006). A magnitude dessa diminuição, porém, é dependente do sistema de manejo utilizado.

No Tabela 4.1, verifica-se distinção entre três grupos: no primeiro, a redução nos valores de CBM chegou a 72% e 65% nos sistemas convencionais de manejo do solo, com revolvimento anual (AD e GP, respectivamente); no segundo, com a utilização de sistemas conservacionistas, como o cultivo mínimo com escarificador (ESC) e sob plantio direto (PD1, PD2 e PD3), a redução dos teores de CBM foi intermediária, com reduções de 55%, 52%, 50% e 31% (PD1, PD2, ESC, e PD3, respectivamente). Por último, o sistema PAST apresentou reduções de CBM não significativas em relação ao CER, demonstrando ser um sistema que pode contribuir com a manutenção da BM em solos tropicais, como os Latossolos do Cerrado.

**Tabela 4.1.** Comparação do parâmetro  $p_0$  da regressão  $y = p_{0M} + p_{1X_L}$  para carbono da biomassa microbiana (CBM) entre oito sistemas de manejo do solo.

Sistema	CBM (mg kg <sup>-1</sup> )
GP <sup>1</sup>	92,36 d <sup>2</sup>
AD	73,96 d
ESC	131,50 bcd
PD1	118,71 cd
PD2	125,35 bcd
PD3	180,02 bc
PAST	204,44 ab
CER	262,87 a

\*\* : significativo a 1% pelo teste F.

<sup>1</sup> GP: preparo do solo com grade pesada e cultivado com leguminosas há doze anos; AD: preparo do solo com arado de discos e cultivado com leguminosas há doze anos; ESC: preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o cultivo mínimo com escarificador, com alternância bienal de gramíneas e leguminosas; PD1: preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o plantio direto, com alternância bienal de gramíneas e leguminosas; PD2: preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o plantio direto, com alternância bienal no verão de gramíneas e leguminosas, combinada com safrinha de leguminosas e gramíneas, respectivamente; PD3: preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o plantio direto, com alternância anual de gramíneas e leguminosas; PAST: preparo com arado de discos e cultivo de gramíneas nos dois primeiros anos e arado de aivecas com leguminosas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se pastagem, sem pastejo animal; CER: área de Cerrado *strictu sensu* contígua à área experimental, utilizada como ambiente de referência.

<sup>2</sup> Valores seguidos da mesma letra na coluna não apresentam diferenças significativas entre si pelo teste t a 5%.

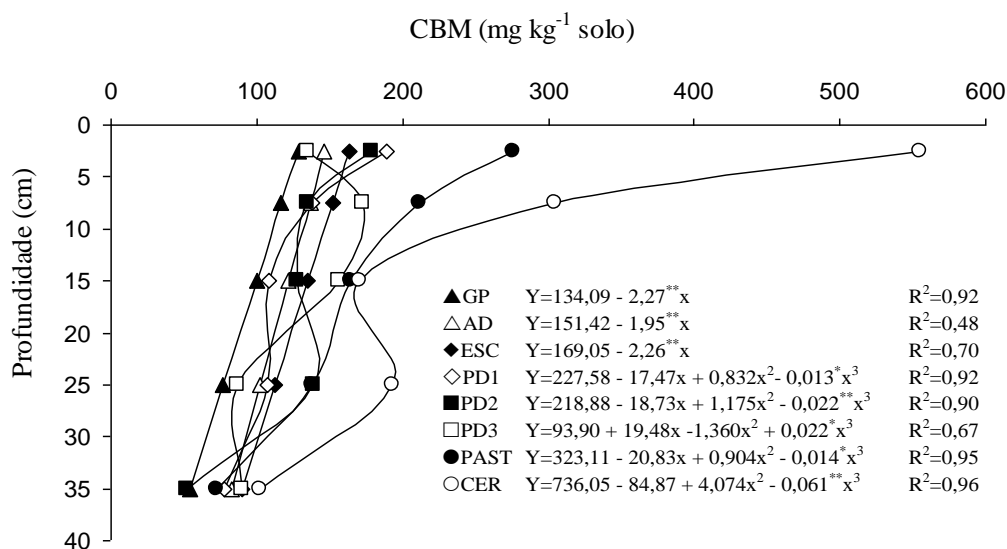
Em estudos de Carneiro et al. (2008), em Latossolo Vermelho e Neossolo Quartzarênico, a pastagem também proporcionou teores próximos ao do cerrado nativo. Distribuição semelhante foi encontrada por Renz et al. (1999) em solo da mesma região deste estudo. De acordo com estes autores, a densidade e a distribuição das raízes, bem como a constante liberação de exudatos, explicam o acúmulo de carbono microbiano em pastagens. Souza et al. (2008) encontraram relação direta e linear, com alto fator de correlação ( $r = 0,94$ ;  $p < 0,05$ ) entre BM e massa de raízes de pastagens, sendo que essa relação foi maior em pastejos mais intensos. Esses dados reforçam a importância das raízes de pastagens para o crescimento microbiano do solo. Recentemente, Deneff et al. (2009) verificaram a predominância de fungos na rizosfera de pastagens, o que, segundo os autores, pode ser uma explicação para valores elevados de CBM nesses ambientes.

Sobre as reduções de CBM em solos manejados, Roscoe et al. (2006), utilizando dados de pesquisas com CBM em diferentes biomas brasileiros, verificaram

redução média de 68% na passagem de cerrado nativo para agroecossistemas, resultados semelhantes, portanto, ao deste estudo. Carneiro et al. (2009) encontraram reduções de 56%, 72% e 80% nos teores de CBM nos sistemas de manejo com sorgo em plantio direto, nabo em plantio direto e milho em sistema convencional, respectivamente, em relação ao cerrado nativo.

No presente estudo, entre os sistemas manejados, o plantio direto (PD3) apresentou, em média, o dobro dos teores de CBM, quando comparado aos sistemas convencionais (AD e GP). Esse fato reforça a constatação de diversos autores de que o revolvimento anual do solo promove reduções da BMS e, por outro lado, sistemas conservacionistas, manejados de forma adequada, promovem ambientes mais propícios aos microrganismos do solo (Perez et al., 2004; Silva et al., 2007; Figueiredo et al., 2007; Ferreira et al., 2007), o que favorece a manutenção do C mais ativo no solo. Os diferentes sistemas sob plantio direto, com escarificação e com pastagem, não apresentaram diferenças entre si.

Na Figura 4.2, são apresentados os modelos de regressão de CBM para os diferentes sistemas. Foram considerados os mais elevados graus das regressões, desde que significativos a 5% ( $p < 0,05$ ). Verifica-se distinção entre os sistemas que utilizam algum implemento anual de preparo do solo (GP e AD), mesmo que mínimo (ESC), daqueles em que não há revolvimento do solo (PD1, PD2, PD3, PAST e CER), confirmados pelos valores de F multivariado (Tabela 4.2).



**Figura 4.2.** Distribuição do conteúdo de carbono da biomassa microbiana do solo (CBM) sob diferentes sistemas de manejo, conforme o modelo completo de regressão dos polinômios não-ortogonais. \* significativo a 5%; \*\* significativo a 1%

No primeiro grupo, sem revolvimento do solo, ou com uso de algum implemento, os modelos foram significativos para o comportamento linear do CBM, demonstrando pouca variação do carbono microbiano ao longo do perfil. Esse seria um comportamento típico, causado pelo revolvimento e pela homogeneização dos resíduos culturais. Resultados semelhantes foram encontrados por diversos autores em diferentes condições climáticas (Ferreira et al., 2007; Figueiredo et al., 2007; Sá & Lal, 2009).

**Tabela 4.2.** Valores de F multivariado para comparação dos modelos de regressão da variável carbono da biomassa microbiana (CBM) entre oito sistemas de manejo do solo.

Sistema	GP	AD	ESC	PD1	PD2	PD3	PAST
GP <sup>1</sup>							
AD	0,97 <sup>ns</sup>						
ESC	0,79 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>ns</sup>					
PD1	0,56 <sup>ns</sup>	0,29 <sup>**</sup>	0,70 <sup>ns</sup>				
PD2	0,81 <sup>ns</sup>	0,40 <sup>ns</sup>	0,68 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>***</sup>			
PD3	0,70 <sup>ns</sup>	0,92 <sup>ns</sup>	0,75 <sup>ns</sup>	0,40 <sup>*</sup>	0,43 <sup>*</sup>		
PAST	0,09 <sup>ns</sup>	0,32 <sup>*</sup>	0,38 <sup>*</sup>	0,44 <sup>*</sup>	0,40 <sup>*</sup>	0,02 <sup>***</sup>	
CER	0,12 <sup>***</sup>	0,07 <sup>***</sup>	0,08 <sup>***</sup>	0,02 <sup>***</sup>	0,01 <sup>***</sup>	0,09 <sup>***</sup>	0,14 <sup>***</sup>

\*: significativo a 10%; \*\*: significativo a 5%; \*\*\* significativo a 1%; ns: não-significativo pelo teste F.

<sup>1</sup> GP: preparo do solo com grade pesada e cultivado com leguminosas há doze anos; AD: preparo do solo com arado de discos e cultivado com leguminosas há doze anos; ESC: preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o cultivo mínimo com escarificador, com alternância bienal de gramíneas e leguminosas; PD1: preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o plantio direto, com alternância bienal de gramíneas e leguminosas; PD2: preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o plantio direto, com alternância bienal no verão de gramíneas e leguminosas, combinada com safrinha de leguminosas e gramíneas, respectivamente; PD3: preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o plantio direto, com alternância anual de gramíneas e leguminosas; PAST: preparo com arado de discos e cultivo de gramíneas nos dois primeiros anos e arado de aivecas com leguminosas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se pastagem, sem pastejo animal; CER: área de Cerrado *strictu sensu* contígua à área experimental, utilizada como ambiente de referência.

No segundo grupo, os modelos de distribuição de CBM no perfil foram cúbicos, com destaque para o sistema PD3. Neste sistema, os modelos demonstram que as condições para o crescimento microbiano apresentam-se oscilando no perfil com elevados teores de CBM na profundidade 30-40 cm. Para os sistemas sob plantio direto, esta é uma constatação relevante. A quase totalidade dos resultados de pesquisa no Brasil e no mundo, sobre a distribuição de CBM em perfis de solo sob plantio direto, demonstram uma

estratificação dessa variável, com elevados teores na superfície e bruscas reduções a partir dos 10 cm de profundidade (Perez et al., 2004; Sá et al., 2008; Sá & Lal, 2009). Deve-se ressaltar que o sistema PD3 apresenta rotação de culturas anual, adequando-se às condições climáticas do Cerrado, que não favorecem a utilização de safrinha.

Os dados encontrados neste trabalho reforçam a teoria de Resck (1998) sobre a dinâmica de sistemas de preparo do solo, segundo a qual, para superar as limitações edáficas e climáticas presentes no Cerrado, o manejo sob sistemas conservacionistas, como o plantio direto, deve ser precedido do uso combinado de implementos, como os arados de discos e de aivecas, para as correções químicas e físicas do solo e melhor distribuição da matéria orgânica em profundidade.

### **4.3.2 Nitrogênio da biomassa microbiana**

Considerando-se o efeito médio da variável NBM no perfil do solo ( $p_0$ ), os valores de NBM variaram de 16,54 a 50,47 mg kg<sup>-1</sup> solo (nos sistemas AD e CER, respectivamente) (Tabela 4.3). Esses valores representam bem os valores médios encontrados para NBM em solos do Cerrado. Perez et al. (2005) encontraram teores de NBM variando de 10,6 a 38,6 mg kg<sup>-1</sup> (sistemas manejados e cerrado nativo, respectivamente).

Figueiredo et al. (2007), trabalhando com sistemas convencionais e sob plantio direto no Cerrado, verificaram variação de 11,7 mg kg<sup>-1</sup> em sistema com duplo revolvimento anual com arado de aivecas a 28,1 mg kg<sup>-1</sup> sob plantio direto, para a profundidade de 0-40cm. Assim como aconteceu para o CBM, sob cerrado natural, o solo apresentou maiores teores de NBM do que os sistemas manejados, excetuando-se o sistema PAST (Tabela 4.3). Os sistemas manejados não apresentaram diferenças entre si. O uso de pastagem com braquiária favoreceu o desenvolvimento da BM, apresentando valores próximos ao cerrado natural e superiores aos demais sistemas manejados, com exceção do sistema sob plantio direto (PD3). Os baixos valores de NBM entre os sistemas manejados podem ser resultado da época de amostragem. Como verificado por outros autores, na floração, devido à maior demanda pela planta, os teores de NBM no solo são reduzidos. Este fato foi verificado por Perez et al. (2005), na cultura da soja e por Silva et al. (2007), na floração do feijoeiro.

**Tabela 4.3.** Comparação dos parâmetro  $p_0$  e  $p_1$  da regressão  $y = p_{0M} + p_{1X_L}$  para nitrogênio da biomassa microbiana (NBM) entre oito sistemas de manejo do solo.

Sistema	$p_0$ (**) (mg kg <sup>-1</sup> )	$p_1$ (**) (mg kg <sup>-1</sup> cm <sup>-1</sup> )
GP <sup>1</sup>	17,34 c <sup>2</sup>	-0,272 a
AD	16,54 c	-2,442 a
ESC	17,59 c	-2,084 a
PD1	20,10 c	-1,293 a
PD2	19,36 c	-1,159 a
PD3	24,88 bc	-0,325 a
PAST	36,20 ab	-1,614 a
CER	50,47 a	-9,454 b

\*\* : significativo a 1% pelo teste F.

<sup>1</sup> GP: preparo do solo com grade pesada e cultivado com leguminosas há doze anos; AD: preparo do solo com arado de discos e cultivado com leguminosas há doze anos; ESC: preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o cultivo mínimo com escarificador, com alternância bienal de gramíneas e leguminosas; PD1: preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o plantio direto, com alternância bienal de gramíneas e leguminosas; PD2: preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o plantio direto, com alternância bienal no verão de gramíneas e leguminosas, combinada com safrinha de leguminosas e gramíneas, respectivamente; PD3: preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o plantio direto, com alternância anual de gramíneas e leguminosas; PAST: preparo com arado de discos e cultivo de gramíneas nos dois primeiros anos e arado de aivecas com leguminosas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se pastagem, sem pastejo animal; CER: área de Cerrado *strictu sensu* contígua à área experimental, utilizada como ambiente de referência.

<sup>2</sup> Valores seguidos da mesma letra na coluna não apresentam diferenças significativas entre si pelo teste t a 5%.

Ainda na Tabela 4.3, são apresentados os valores do parâmetro  $p_1$ , que representa a taxa de redução ou acréscimo linear com a profundidade de NBM no perfil. Todos os sistemas apresentaram reduções dos teores de NBM com o aumento da profundidade. Porém, o CER apresentou a maior magnitude de redução de nitrogênio microbiano no perfil em relação aos demais sistemas. Não foram verificadas diferenças nos valores de  $p_1$  entre os sistemas manejados. Semelhante ao comportamento do CBM no perfil (Figura 4.2), os sistemas sob plantio direto não apresentaram taxas de estratificação da BM, com reduções acentuadas de NBM com a profundidade, como verificado em outros trabalhos (Wang et al., 2008).



### 4.3.3 Respiração basal e quociente metabólico

Os valores do parâmetro  $p_0$  para respiração basal (RB) variaram de 3,78 mg C kg<sup>-1</sup> solo dia<sup>-1</sup>, no PD1, a 11,10 mg C kg<sup>-1</sup> solo dia<sup>-1</sup>, no CER (Tabela 4.4). Esses valores enquadram-se na faixa normalmente encontrada para solos no Cerrado. Silva et al. (2007) encontraram uma variação média de 2,2 mg C kg<sup>-1</sup> solo dia<sup>-1</sup>, no plantio direto; 2,5 mg C kg<sup>-1</sup> solo dia<sup>-1</sup>, no sistema convencional; e 10,8 mg C kg<sup>-1</sup> solo dia<sup>-1</sup>, no cerrado nativo (considerando a coleta realizada na floração do feijoeiro). Em Latossolo Vermelho no Cerrado, sob diferentes sistemas de uso e manejo, Carneiro et al. (2008) encontraram variação de 2,6 a 6,0 mg C kg<sup>-1</sup> solo dia<sup>-1</sup>.

O solo sob cerrado natural apresentou maior quantidade de CO<sub>2</sub> liberada em relação aos sistemas manejados. Essa maior atividade, possivelmente, está associada ao tamanho do reservatório de BM no solo, como pode ser observado na Tabela 4.1. As menores oscilações de umidade e temperatura promovidas pela cobertura vegetal mais densa poderiam favorecer as populações microbianas do solo. Os resultados deste estudo contrariam os encontrados por Carneiro et al. (2008), cujos menores valores de respiração basal (RB) foram encontrados no cerrado nativo. Deve-se ressaltar que a RB pode sofrer alterações em função de condições locais e, portanto, cuidados devem ser tomados nas comparações dos valores desta variável encontrados em diferentes localidades.

O sistema PAST apresentou valores de RB inferiores ao cerrado natural. Isto pode indicar que, no solo sob pastagem, na época de amostragem, os microrganismos estavam em menor atividade. Silva et al. (2007) encontraram diferenças na RB em sistemas com braquiária, entre as épocas de amostragem, o que não foi verificado em solos cultivados com guandu e milheto, nas mesmas condições experimentais.

Entre os sistemas sob plantio direto e cultivo mínimo, o PD3 apresentou maior RB que ESC e PD1. Essas diferenças indicam que a rotação anual gramínea/leguminosa do PD3 promove maior atividade microbiana, na comparação com sistemas cuja rotação gramínea/leguminosa é bienal. Costa et al. (2006) encontraram diferenças na RB entre sistemas sob plantio direto com diferentes anos de estabelecimento, sendo que o plantio direto com oito anos apresentou o dobro de carbono respirado que o plantio direto com dez anos.

**Tabela 4.4.** Comparação do parâmetro  $p_0$  da regressão  $y = p_{0M} + p_{1XL}$  para respiração basal (RB) e quociente metabólico (QMb) entre oito sistemas de manejo do solo.

Sistema	RB (**)	QMb ( <sup>ns</sup> )
	(mg C kg <sup>-1</sup> solo dia <sup>-1</sup> )	(mg C-CO <sub>2</sub> mg <sup>-1</sup> CBM dia <sup>-1</sup> )
GP <sup>1</sup>	5,92 bc <sup>2</sup>	0,067
AD	6,96 b	0,063
ESC	4,13 c	0,051
PD1	3,78 c	0,035
PD2	5,89 bc	0,016
PD3	7,07 b	0,029
PAST	5,87 bc	0,036
CER	11,10 a	0,050

\*\* : significativo a 1%; <sup>ns</sup> : não-significativo pelo teste F.

<sup>1</sup> GP: preparo do solo com grade pesada e cultivado com leguminosas há doze anos; AD: preparo do solo com arado de discos e cultivado com leguminosas há doze anos; ESC: preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o cultivo mínimo com escarificador, com alternância bienal de gramíneas e leguminosas; PD1: preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o plantio direto, com alternância bienal de gramíneas e leguminosas; PD2: preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o plantio direto, com alternância bienal no verão de gramíneas e leguminosas, combinada com safrinha de leguminosas e gramíneas, respectivamente; PD3: preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o plantio direto, com alternância anual de gramíneas e leguminosas; PAST: preparo com arado de discos e cultivo de gramíneas nos dois primeiros anos e arado de aivecas com leguminosas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se pastagem, sem pastejo animal; CER: área de Cerrado *strictu sensu* contígua à área experimental, utilizada como ambiente de referência.

<sup>2</sup> Valores seguidos da mesma letra na coluna não apresentam diferenças significativas entre si pelo teste t a 5%.

Para a variável QMb, os modelos de regressão não foram significativos pelo teste F ( $p < 0,05$ ). Porém, a média dos sistemas convencionais de preparo do solo (GP e AD = 0,065 mg C-CO<sub>2</sub> mg<sup>-1</sup> CBM dia<sup>-1</sup>) foi 2,5 vezes maior do que a média dos sistemas sob plantio direto (0,026 mg C-CO<sub>2</sub> mg<sup>-1</sup> CBM dia<sup>-1</sup>). Esses resultados podem indicar melhor uso do carbono pela BMS no plantio direto. De acordo com Anderson & Domsch (1993), quanto maior o quociente metabólico, menos eficiente é a BM, indicando que a população microbiana do solo gasta mais energia (C) para sua manutenção, o que significa uma condição de estresse. Nesse sentido, os manejos GP, AD e ESC proporcionaram uma condição de estresse e, conseqüentemente, a BM consumiu mais energia para sua manutenção, ocasionando redução no teor de carbono orgânico, principalmente de formas mais lábeis.

#### 4.3.4 Relações carbono da biomassa microbiana: carbono orgânico total e carbono orgânico total: nitrogênio total

Os modelos de regressão para as relações NBM:CBM e NBM:NT não foram significativos pelo teste F. Com relação ao comportamento médio da profundidade 0-40 cm ( $p_0$ ), os sistemas CER, PAST e PD1 apresentaram os maiores valores de COT (21,0; 20,9 e 20,8 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente) (Tabela 4.5). Carneiro et al. (2008) também verificaram elevados teores de C orgânico total tanto em Latossolo Vermelho quanto em Neossolo Quartzarênico sob pastagem, não diferindo do cerrado nativo.

**Tabela 4.5.** Comparação do parâmetro  $p_0$  da regressão  $y = p_{0M} + p_{1X_L}$  para carbono orgânico total (COT), relação carbono da biomassa microbiana: carbono orgânico total (CBM:COT) e carbono orgânico total: nitrogênio total (COT:NT), em oito sistemas de manejo do solo.

Sistema	COT (**) (g kg <sup>-1</sup> )	CBM:COT (*) (%)	COT:NT (*) (%)
GP <sup>1</sup>	19,3 b <sup>2</sup>	0,68 abc	17,1 bc
AD	18,5 bc	0,40 c	17,1 bc
ESC	17,8 c	0,74 abc	18,8 a
PD1	20,8 a	0,57 bc	18,1 ab
PD2	18,8 bc	0,58 bc	16,1 c
PD3	18,8 bc	1,02 ab	16,9 bc
PAST	20,9 a	1,07 ab	17,1 bc
CER	21,0 a	1,45 a	17,4 abc

\*: significativo a 5%; \*\*: significativo a 1% pelo teste F.

<sup>1</sup> GP: preparo do solo com grade pesada e cultivado com leguminosas há doze anos; AD: preparo do solo com arado de discos e cultivado com leguminosas há doze anos; ESC: preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o cultivo mínimo com escarificador, com alternância bienal de gramíneas e leguminosas; PD1: preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o plantio direto, com alternância bienal de gramíneas e leguminosas; PD2: preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o plantio direto, com alternância bienal no verão de gramíneas e leguminosas, combinada com safrinha de leguminosas e gramíneas, respectivamente; PD3: preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o plantio direto, com alternância anual de gramíneas e leguminosas; PAST: preparo com arado de discos e cultivo de gramíneas nos dois primeiros anos e arado de aivecas com leguminosas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se pastagem, sem pastejo animal; CER: área de Cerrado *strictu sensu* contígua à área experimental, utilizada como ambiente de referência.

<sup>2</sup> Valores seguidos da mesma letra na coluna não apresentam diferenças significativas entre si pelo teste t a 5%.

Entre os sistemas de manejo, o PD1 apresentou maiores teores de COT do que os demais sistemas estudados, incluindo outros sistemas conservacionistas (ESC, PD2 e

PD3). Estes resultados indicam formas diferenciadas de acúmulo de carbono no solo, em função da dinâmica dos sistemas de manejo: alternância das culturas e dos sistemas de preparo do solo. Como não foram verificadas diferenças nos teores de CBM (Tabela 4.1) e na relação CBM:COT (Tabela 4.5) entre os sistemas conservacionistas, infere-se que a diferença nos teores de COT possa ser resultado de diferenças na qualidade da matéria orgânica acumulada. Isso é reforçado pelas diferenças verificadas na relação COT:NT do solo entre os sistemas conservacionistas. O sistema PD2 (16,1%) apresentou menor relação COT:NT do que os sistemas PD1 (18,1%) e ESC (18,8%).

Ainda na Tabela 4.5, verifica-se que, entre os sistemas manejados, o AD apresentou menor relação CBM:COT (0,4%), sendo 2,5 vezes inferior aos sistemas PD3 e PAST (1,02% e 1,07%, respectivamente). Xavier et al. (2006) também encontraram valores elevados de CBM:COT em solos sob pastagem. De acordo com esses autores, a pastagem apresenta valores intermediários entre áreas nativas e manejadas com adubação orgânica, podendo ultrapassar a mata nativa em subsuperfície. Conforme eles, isto pode estar relacionado ao efeito do sistema radicular das gramíneas em disponibilizar compostos orgânicos de fácil degradação, fonte de energia para os microrganismos.

O CER apresentou valor de 1,45% para CBM:COT. Este valor está abaixo dos encontrados por Renz et al. (1999) para as condições do Cerrado, apenas nas camadas superficiais do solo (0-10 cm), cujos valores variaram de 2,1% a 3,2% (para áreas manejadas e cerrado nativo, respectivamente) e dos encontrados por Carneiro et al. (2008) em Latossolo Vermelho, onde o cerrado nativo apresentou valor de 3,49%, considerando-se a camada 0-10 cm. Todavia, os resultados deste trabalho estão mais próximos dos encontrados por Ferreira et al. (2007), cujos valores ( $p_0$ ) variaram de 1,19%, no sistema sob duplo revolvimento anual com arado de aivecas, a 2,12%, no cerrado nativo. Deve-se ressaltar que os baixos valores de CBM:COT podem ser explicados por maiores teores de COT encontrados nos tratamentos deste estudo, quando comparados com aqueles do trabalho de Ferreira et al. (2007), que foram obtidos no mesmo solo, porém numa área com oito anos a mais em tempo de uso.

Xavier et al. (2006) encontraram variação de CBM:COT de 0,41% a 2,79% em solos sob sistemas de produção orgânica e convencional em região serrana do Nordeste brasileiro. A relação CBM:COT expressa a qualidade da matéria orgânica e mudanças nessa relação refletem o padrão de entrada de matéria orgânica nos solos, a eficiência da conversão do COT em CBM e as perdas e a estabilização do carbono orgânico pela fração

mineral do solo (Sparling, 1992).

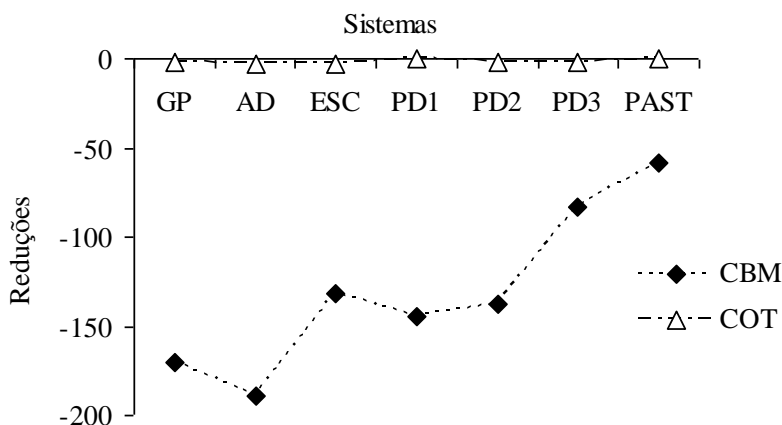
Na relação COT:NT, ao contrário do verificado para as demais variáveis analisadas, não foram encontradas diferenças entre o CER e os demais sistemas (Tabela 4.5). Isso demonstra que a relação COT:NT não é um atributo sensível para detectar alterações no solo, na passagem de cerrado nativo para sistemas manejados. Entre os sistemas manejados, o PD2 apresentou menor valor, se comparado ao PD1 e ao ESC, não diferindo dos demais sistemas. Como estes três sistemas (PD1, PD2 e ESC) sofreram as mesmas operações de correção e condicionamento do solo, nos quatro primeiros anos do experimento, e como não houve diferença entre PD1 e ESC, essas diferenças devem-se ao uso de culturas como safrinha, presentes no PD2, que produzem resíduos cuja relação C:N é mais baixa. O uso de leguminosas como safrinha, além das culturas de verão, pode ter promovido diminuição da relação COT:NT do solo, pela maior taxa de fixação biológica de nitrogênio. De acordo com Marques et al. (2000), a disponibilidade de N e o tempo de imobilização após a adição de resíduo cultural são alterados por causa da relação C:N desses resíduos e do manejo do solo.

Na Figura 4.3, são apresentados os balanços de C microbiano (CBM) e total (COT), considerando os teores médios na profundidade 0-40 cm ( $p_0$ ). Este balanço foi calculado pela diferença entre os sistemas de manejo e o cerrado nativo (referência) (Tabelas 5.1 e 5.5). O balanço tem caráter informativo e permite uma estimativa do incremento ou da redução de C (CBM e COT) no solo (Rangel & Silva, 2007). Verifica-se que, após doze anos, houve reduções dos teores de COT e CBM. Quanto ao COT, as reduções foram desprezíveis (não significativas) nos sistemas PAST e PD1. Comparando-se a magnitude das reduções ocorridas nas duas variáveis, o CBM demonstrou ser um atributo do solo mais sensível para detectar alterações provocadas pelo manejo, como verificado por diversos autores (Powlson & Jenkinson, 1981; Guggenberger et al., 1999; Carneiro et al., 2008; De-Polli & Guerra, 2008; Carneiro et al., 2009; Sá & Lal, 2009).

Na Tabela 4.6, são apresentados os coeficientes de correlação linear de Pearson entre as variáveis microbiológicas, carbono e nitrogênio do solo, considerando todos os tratamentos e profundidades em conjunto, com significância pelo teste F.

De maneira geral, os componentes da biomassa microbiana (CBM e NBM) se correlacionaram positivamente entre si ( $r = 0,91$ ;  $p < 0,01$ ) e com as demais variáveis analisadas ( $p < 0,01$ ), com exceção do quociente metabólico, cuja correlação foi negativa

para CBM ( $r = -0,45$ ;  $p < 0,01$ ), para NBM ( $r = -0,32$ ;  $p < 0,01$ ) e para CBM:NBM ( $r = -0,34$ ;  $p < 0,01$ ). Deve-se destacar a boa correlação positiva e significativa da BM com COT e NT do solo, que são as fontes energéticas para o crescimento (CBM e NBM) e para a atividade da BMS, haja vista a correlação positiva de COT e NT com a RB. A correlação entre CBM e COT indica a importância do carbono microbiano no ciclo do carbono total em ambientes tropicais como o Cerrado (Resck et al., 2008).



**Figura 4.3.** Balanço dos teores médios de carbono da biomassa microbiana (CBM) e carbono orgânico total (COT) na profundidade 0-40 cm ( $p_0$ ), calculados pela diferença entre os sistemas de manejo e o cerrado nativo (referência = 0).

A biomassa microbiana (CBM e NBM) correlacionou-se positivamente com sua atividade potencial (RB). Na mesma região deste estudo, Renz et al. (1999) encontraram correlação de 0,82 ( $p < 0,0001$ ) entre CBM e atividade microbiana, o que explica a maior taxa de ciclagem de nutrientes em solos tropicais do Cerrado.

**Tabela 4.6.** Coeficientes de correlação de Pearson entre carbono da biomassa microbiana (CBM), nitrogênio da biomassa microbiana (NBM), relação CBM:NBM, respiração basal (RB), quociente metabólico (QMb), relação CBM:COT, carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT), considerando-se todos os sistemas de manejo em conjunto.

Variável	CBM	NBM	CBM:NBM	RB	QMb	CBM:COT	COT
CBM							
NBM	0,91**						
CBM:NBM	0,09 <sup>ns</sup>	-0,27 <sup>ns</sup>					
RB	0,69**	0,73**	-0,21**				
QMb	-0,45**	-0,32**	-0,34**	0,19 <sup>ns</sup>			
CBM:COT	0,94**	0,83**	0,13 <sup>ns</sup>	0,60**	-0,46**		
COT	0,75**	0,65**	0,14 <sup>ns</sup>	0,37**	-0,54**	0,64**	
NT	0,62**	0,65**	0,17 <sup>ns</sup>	0,30**	-0,48**	0,51**	0,86**

\*\* : significativo a 1%; <sup>ns</sup> : não-significativo pelo teste F.

#### 4.4 CONCLUSÕES

- A conversão de áreas de cerrado nativo para sistemas agrícolas promove diminuição da biomassa microbiana do solo.
- A pastagem promove o aumento do carbono e do nitrogênio da biomassa microbiana do solo.
- Os sistemas sob plantio direto diferenciam-se nos teores de carbono orgânico total e na atividade microbiana do solo.

#### 4.5 REFERÊNCIAS

ADÁMOLI, J.; MACEDO, J.; AZEVEDO, L. G.; MADEIRA NETO, J. Caracterização da região dos Cerrados. In: GOEDERT, W. J. **Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo**. Planaltina: Embrapa-CPAC; São Paulo: Nobel, 1986. p. 33-74.

ALEF, K.; NANNIPIERE, P. **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. London: Academic Press, 1995. 576 p.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO<sub>2</sub> (qCO<sub>2</sub>) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 25, n. 3, p. 393-395, 1993.

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, v. 39, n. 7, p. 677-683, 2004.

BROOKES, P. C.; LANDMAN, A.; PRUDEN, G.; JENKINSON, D. S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: A rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 17, n. 6, p. 837-842, 1985.

CAMPBELL, C. A.; BIEDERBECK, V. O.; ZENTNER, R. P.; LAFOND, G. P. Effect of crop rotations and cultural practices on soil organic matter, microbial biomass and respiration in a thin black chernozem. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 71, n. 3, p. 363-376, 1991.

CARNEIRO, M. A. C.; ASSIS, P. C. R.; MELO, L. B. C.; PEREIRA, H. S.; PAULINO, H. B.; SILVEIRA NETO, A. N. Atributos bioquímicos em dois solos de cerrado sob diferentes sistemas de manejo e uso. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 38, n. 4, p. 276-283, 2008.

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**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009.

COLWELL, J. D. **Computations for studies of soil fertility and fertilizer requirements**. Camberra: CSFRO Division of Soils, A.C.T. Australia Commonwealth Agricultural Bureau, 1978. 297 p.

CORAZZA, E. J.; SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 425-432, 1999.

COSTA, E. A.; GOEDERT, W. J.; SOUSA, D. M. G. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 7, p. 1185-1191, 2006.

DENEF, K.; ROOBROECK, D.; LOOTENS, P.; BOECKX, P. Microbial community composition and rhizodeposit-carbon assimilation in differently temperate grassland soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 41, n. 1, p. 144-153, 2009.

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.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

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**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1625-1635, 2007.

FIGUEIREDO, C. C.; 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**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 551-562, 2007.

GUGGENBERGER, G.; FREY, S. D.; SIX, J.; PAUSTAN, K.; ELLIOTT, E. T. Bacterial and fungal cell-wall residues in conventional and no-tillage agroecosystems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 63, n. 5, p. 1188-1198, 1999.

JANTALIA, C. P.; RESCK, D. V. S.; ALVES, B. J. R.; ZOTARELLI, L.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Tillage effect on C stocks of a clayey Oxisol under a soybean-based crop rotation in the Brazilian Cerrado region. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 95, n. 1-2, p. 97-109, 2007.

JOERGENSEN, R. G. The fumigation-extraction method to estimate soil microbial biomass: Calibration of the kec value. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 28, n. 1, p. 25-31, 1996.

LAL, R. Soil carbon sequestration in Latin America. In: LAL, R.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; ETCHEVES, J.; CERRI, E. **Carbon sequestration in soils of Latin America**. New York: Food Products Press, 2006. p. 49-64.



MARQUES, T. C. L. L. S. M.; VASCONCELLOS, C. A.; FILHO, I. P.; FRANÇA, G. E.; CRUZ, J. C. Evolvimento de dióxido de carbono e mineralização de nitrogênio em Latossolo Vermelho-Escuro com diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 3, p. 581-589, 2000.

MENDES, I. C. Impactos de sistemas agropecuários na atividade enzimática e biomassa microbiana dos solos de Cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA E MERCOSOJA, 2., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: CBS, 2002. p. 246-257.

MOORE, J. M.; KLOSE, S.; TABATABAI, M. A. Soil microbial biomass carbon and nitrogen as affected by cropping systems. **Biology and Fertility Soils**, v. 31, n. 3-4, p. 200-210, 2000.

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**, Brasília, v. 39, n. 6, p. 567-573, 2004.

PEREZ, K. S. S.; RAMOS, M. L. G.; MCMANUS, C. Nitrogênio da biomassa microbiana em solo cultivado com soja, sob diferentes sistemas de manejo, nos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 2, p. 11-20, 2005.

POWLSON, D. S.; JENKINSON, D. S. A comparison of the organic matter, biomass, adenosine triphosphate and mineralizable nitrogen contents of ploughed and direct drilled soils. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 97, n. 3, p. 713-721, 1981.

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**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1609-1623, 2007.

RENZ, T. E.; NEUFELDT, H.; AYARSA, M. A.; RESCK, D. V. S.; ZECK, W. Microbial biomass, microbial activity, and carbon pools under different land-use systems in the Brazilian Cerrados. In: THOMAS, R.; AYARSA, M. A. **Dinamics of soil organic matter and indicators of soil quality: Sustainable land manager for the Oxisols of the Latin America Savanas**. Cali: CIAT, 1999. p. 187-197.

RESCK, D. V. S. Agricultural intensification systems and their impact on soil and water quality in the Cerrados of Brazil. In: LAL, R. (Ed.). **Soil quality and agricultural sustainability**. Michigan: Ann Arbor, 1998. p. 288-300.

RESCK, D. V. S.; FERREIRA, E. A. B.; FIGUEIREDO, C. C.; ZINN, Y. L. Dinâmica da matéria orgânica no Cerrado. 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. 359-417.

ROSCOE, R.; BUURMAN, P. Tillage effects on soil organic matter dynamics in density fractions of a cerrado Oxisol. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 70, n. 2, p. 107-119, 2003.

ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; MENDES, I. C.; REIS JÚNIOR, F. B.; SANTOS, J. C. F.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana do solo: fração mais ativa da matéria orgânica. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. p. 163-198.

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

SÁ, J. C. M.; SÁ, M. F. M.; SANTOS, J. F.; OLIVEIRA, A. Dinâmica da matéria orgânica nos Campos Gerais. 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. 443-461.

SILVA, M. B.; KLIEMANN, H. J.; SILVEIRA, P. M.; LANNA, A. C. Atributos biológicos do solo sob influência da cobertura vegetal e do sistema de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 12, p. 1755-1761, 2007.

SOUZA, E. D.; COSTA, S. E. V. G. A.; LIMA, C. V. S.; ANGHINONI, I.; MEURER, E. J.; CARVALHO, P. C. F. Carbono orgânico e fósforo microbiano em sistema de integração agricultura-pecuária submetido a diferentes intensidades de pastejo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 1273-1282, 2008.

SPARLING, G. P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v. 30, n. 2, p. 195-207, 1992.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 19, n. 6, p. 703-707, 1987.

WANG, Q.; BAI, Y.; GAO, H.; HE, J.; CHEN, H.; CHESNEY, R. C.; KUHN, N. J.; LI, H. Soil chemical properties and microbial biomass after 16 years of no-tillage farming on the Loess Plateau, China. **Geoderma**, Amsterdam, v. 144, n. 3-4, p. 502-508, 2008.

XAVIER, F. A. S.; MAIA, S. M. F.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na chapada da Ibiapaba - CE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 247-258, 2006.

## 5 CONCLUSÕES GERAIS

De maneira geral, a transformação de áreas nativas do Cerrado em áreas para atividades agrícolas promove alteração dos teores de matéria orgânica do solo. A fração particulada e a biomassa microbiana demonstram ser sensíveis na detecção de mudanças no uso do solo no Cerrado, antes mesmo de se refletir no COT. Os sistemas de manejo do solo causam diminuição dos teores médios da fração particulada e da biomassa microbiana (CBM e NBM). Por outro lado, o uso anual de arado de discos para o preparo do solo acarreta aumento dos teores de matéria orgânica associada aos minerais no perfil, quando comparado ao cerrado nativo. Entre os sistemas estudados, o PAST apresenta os teores de todas as frações de matéria orgânica mais próximos do ambiente de referência, configurando-se numa boa opção para a melhoria dos estoques de matéria orgânica lábil de áreas já incorporadas ao processo produtivo e que se encontram com baixo poder produtivo.

Quanto às frações lábeis e estáveis, alterações nos teores de carbono orgânico pelo uso do solo no Cerrado ocorrem, principalmente, na fração particulada da matéria orgânica ( $> 53 \mu\text{m}$ ). O uso de pastagens bem manejadas e sem pastejo animal promovem aumento dos teores de matéria orgânica particulada, bem como a associação dessa fração a agregados maiores (2-8 mm). Nas condições edafoclimáticas do Cerrado, a instalação do sistema plantio direto, precedido de correção química e estrutural do solo, gera distribuição mais uniforme da matéria orgânica particulada no perfil.

Nas condições deste estudo, a participação de COP no COT (COP:COT) é elevada. Se, por um lado, isso demonstra a eficiência da metodologia utilizada em separar o material particulado do solo, por outro, denota a necessidade de estudo exclusivo para avaliar a qualidade desse material.

As variáveis CBM e NBM são as frações da matéria orgânica que sofrem, relativamente, as maiores reduções ocasionadas pelos sistemas de manejo, sendo mais intensas nos sistemas com revolvimento anual do solo. A pastagem promove teores médios de CBM e NBM no perfil semelhantes aos do cerrado nativo. Entre os sistemas de manejo convencional e direto, o PD3 apresenta maiores teores de CBM do que os sistemas

convencionais de preparo do solo. Deve-se ressaltar que essa superioridade do plantio direto representa o comportamento médio do perfil, considerando a camada 0-40 cm de profundidade e as condições edafoclimáticas do Cerrado. Os sistemas com maiores teores de CBM também apresentam maior atividade microbiana, representada pela respiração basal.

Clara distinção entre os sistemas de uso e manejo do solo é verificada através do diâmetro médio ponderado dos agregados no perfil do solo, demonstrando que a ação de revolvimento anual do solo promove a quebra de agregados e que a adoção do plantio direto, precedido pela dinâmica estabelecida de sistemas de manejo convencional, promove a formação de agregados maiores, com implicações no armazenamento da MOS.

Portanto, estudos posteriores devem ser realizados para melhorar a compreensão dos mecanismos envolvidos no armazenamento e na decomposição da matéria orgânica, considerando suas diferentes frações, em solos sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado.

## APÊNDICES

<b>Apêndice A.</b> Resultados das análises físicas das amostras de solo da área experimental em oito diferentes sistemas de manejo, em cinco profundidades (média de três repetições). .....	94
<b>Apêndice B.</b> Histórico dos sistemas de manejo utilizados no estudo. ....	96
<b>Apêndice C.</b> Produtividade de soja em Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo.....	97
<b>Apêndice D.</b> Esquema de separação e utilização das amostras. ....	98
<b>Apêndice E.</b> Parâmetros e coeficientes de uma equação de regressão polinomial ortogonal. ....	99
<b>Apêndice F.</b> Coeficientes para interpolação de polinômios ortogonais nos diferentes sistemas de manejo. ....	100

**Apêndice A.** Resultados das análises físicas das amostras de solo da área experimental em oito diferentes sistemas de manejo, em cinco profundidades (média de três repetições).

Sistema	Profundidade (cm)	DS (g cm <sup>-3</sup> )	MIC (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	MAC (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	PT (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	Argila (g kg <sup>-1</sup> )	Silte (g kg <sup>-1</sup> )	Areia Grossa (g kg <sup>-1</sup> )	Areia Fina (g kg <sup>-1</sup> )	DP (g cm <sup>-3</sup> )
GP <sup>1</sup>	0 – 5	1,13	0,39	0,18	0,60	500	100	80	320	2,73
	5 – 10	1,04	0,36	0,25	0,61	500	80	80	320	2,68
	10 – 20	1,03	0,35	0,28	0,63	530	90	70	330	2,74
	20 – 30	1,06	0,34	0,25	0,61	510	90	70	300	2,74
	30 – 40	1,04	0,36	0,26	0,62	520	80	80	300	2,72
AD	0 – 5	1,06	0,37	0,24	0,61	520	90	80	310	2,73
	5 – 10	1,07	0,36	0,25	0,61	550	100	80	270	2,72
	10 – 20	1,02	0,34	0,28	0,62	520	90	80	310	2,68
	20 – 30	1,08	0,37	0,25	0,61	520	100	80	300	2,76
	30 – 40	1,04	0,35	0,26	0,61	510	80	70	340	2,73
ESC	0 – 5	1,11	0,36	0,19	0,57	520	80	80	320	2,78
	5 – 10	1,11	0,37	0,23	0,58	530	90	80	300	2,69
	10 – 20	1,08	0,36	0,24	0,60	510	90	80	320	2,71
	20 – 30	1,06	0,35	0,26	0,61	510	80	80	330	2,73
	30 – 40	1,03	0,36	0,26	0,62	520	80	80	320	2,69
PD1	0 – 5	1,12	0,38	0,20	0,58	480	90	110	320	2,70
	5 – 10	1,12	0,36	0,23	0,60	490	80	100	330	2,72
	10 – 20	1,05	0,34	0,27	0,61	500	80	100	320	2,70
	20 – 30	1,04	0,33	0,27	0,62	520	60	90	330	2,77
	30 – 40	1,08	0,36	0,25	0,61	530	70	100	300	2,76
PD2	0 – 5	1,18	0,38	0,18	0,57	500	90	100	310	2,75
	5 – 10	1,07	0,39	0,22	0,61	510	80	100	310	2,75
	10 – 20	1,09	0,35	0,26	0,61	500	100	100	300	2,76
	20 – 30	1,09	0,37	0,23	0,60	520	70	100	310	2,74
	30 – 40	1,10	0,34	0,27	0,60	530	70	100	300	2,78
PD3	0 – 5	1,08	0,37	0,22	0,59	510	90	90	310	2,72
	5 – 10	1,05	0,35	0,26	0,61	510	80	90	320	2,71
	10 – 20	1,06	0,34	0,27	0,61	510	80	80	330	2,72
	20 – 30	1,10	0,36	0,25	0,60	510	80	80	330	2,74
	30 – 40	1,12	0,34	0,25	0,59	510	80	80	330	2,74

Cont.

## Apêndice A. Continuação

Sistema	Profundidade	DS	MIC	MAC	PT	Argila	Silte	Areia Grossa	Areia Fina	DP
	(cm)	(g cm-3)	(m3m-3)	(m3m-3)	(m3m-3)	(g kg-1)	(g kg-1)	(g kg-1)	(g kg-1)	(g cm-3)
PAST	0 – 5	1,04	0,39	0,22	0,61	520	90	70	320	2,67
	5 – 10	1,06	0,36	0,25	0,61	520	90	80	310	2,73
	10 – 20	1,06	0,36	0,25	0,61	520	90	70	320	2,72
	20 – 30	1,07	0,35	0,29	0,62	520	90	80	310	2,73
	30 – 40	1,10	0,36	0,24	0,60	530	100	80	290	2,76
CER	0 – 5	0,95	0,33	0,33	0,65	500	90	90	320	2,67
	5 – 10	0,94	0,32	0,31	0,64	500	90	90	320	2,65
	10 – 20	0,97	0,33	0,31	0,64	500	90	90	320	2,72
	20 – 30	1,02	0,34	0,25	0,63	530	80	80	310	2,70
	30 – 40	1,01	0,33	0,30	0,63	530	80	90	300	2,74

DS: densidade do solo; MIC: microporosidade; MAC: macroporosidade; PT: porosidade total; DP: densidade de partículas.

<sup>1</sup> GP: preparo do solo com grade pesada e cultivado com leguminosas há doze anos; AD: preparo do solo com arado de discos e cultivado com leguminosas há doze anos; ESC: preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o cultivo mínimo com escarificador, com alternância bienal de gramíneas e leguminosas; PD1: preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o plantio direto, com alternância bienal de gramíneas e leguminosas; PD2: preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o plantio direto, com alternância bienal no verão de gramíneas e leguminosas, combinada com safrinha de leguminosas e gramíneas, respectivamente; PD3: preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o plantio direto, com alternância anual de gramíneas e leguminosas; PAST: preparo com arado de discos e cultivo de gramíneas nos dois primeiros anos e arado de aivecas com leguminosas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se pastagem, sem pastejo animal; CER: área de Cerrado *strictu sensu* contígua à área experimental, utilizada como ambiente de referência.

**Apêndice B.** Histórico dos sistemas de manejo utilizados no estudo.

Sistema	ANO (Safrá)											
	1996/ 1997	1997/ 1998	1998/ 1999	1999/ 2000	2000/ 2001	2001/ 2002	2002/ 2003	2003/ 2004	2004/ 2005	2005/ 2006	2006/ 2007	2007/ 2008
GP <sup>1</sup>	GP-L	GP-L	GP-L	GP-L	GP-L	GP-L	GP-L	GP-L	GP-L	GP-L	GP-L	GP-L
AD	AD-L	AD-L	AD-L	AD-L	AD-L	AD-L	AD-L	AD-L	AD-L	AD-L	AD-L	AD-L
ESC	AD-G	AD-G	AV-L	AV-L	ESC-G	ESC-G	ESC-L	ESC-L	ESC-G	ESC-G	ESC-L	ESC-L
PD1	AD-G	AD-G	AV-L	AV-L	PD-G	PD-G	PD-L	PD-L	PD-G	PD-G	PD-L	PD-L
PD2	ADG L1	ADG L1	AVL G1	AVL G1	PDG L1	PDG L1	PDL G1	PDL G1	PDG L1	PDG L1	PDL G1	PDL G1
PD3	AD-G	AD-L	AV-G	AV-L	PD-G	PD-L	PD-G	PD-L	PD-G	PD-L	PD-G	PD-L
PAST	AD-G	AD-G	AV-L	AV-L	PAST	PAST	PAST	PAST	PAST	PAST	PAST	PAST
CER	CER	CER	CER	CER	CER	CER	CER	CER	CER	CER	CER	CER

L: leguminosa (soja); G: gramínea (milho); L1: leguminosa para safrinha (feijão guandu); G1: gramínea para safrinha (milheto).

<sup>1</sup> GP: preparo do solo com grade pesada e cultivado com leguminosas há doze anos; AD: preparo do solo com arado de discos e cultivado com leguminosas há doze anos; ESC: preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o cultivo mínimo com escarificador, com alternância bienal de gramíneas e leguminosas; PD1: preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o plantio direto, com alternância bienal de gramíneas e leguminosas; PD2: preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o plantio direto, com alternância bienal no verão de gramíneas e leguminosas, combinada com safrinha de leguminosas e gramíneas, respectivamente; PD3: preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o plantio direto, com alternância anual de gramíneas e leguminosas; PAST: preparo com arado de discos e cultivo de gramíneas nos dois primeiros anos e arado de aivecas com leguminosas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se pastagem, sem pastejo animal; CER: área de Cerrado *strictu sensu* contígua à área experimental, utilizada como ambiente de referência.



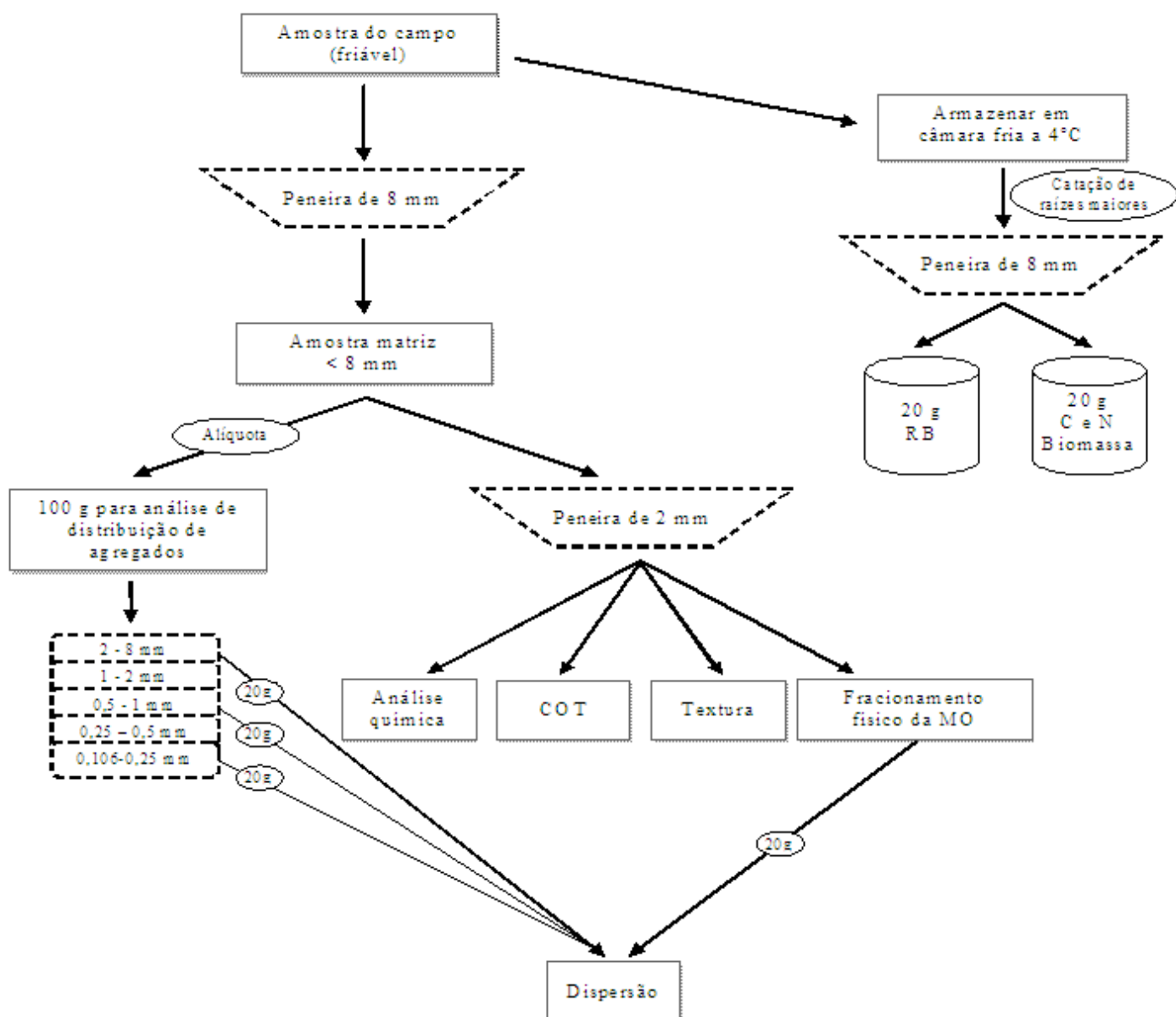
**Apêndice C.** Produtividade de soja em Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo.

Sistema	Produtividade <sup>(ns)</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )
GP <sup>1</sup>	3294,6
AD	2803,0
ESC	3326,8
PD1	2805,3
PD2	2908,4
PD3	3203,2

<sup>ns</sup>: não-significativo pelo teste t a 5%.

<sup>1</sup> GP: preparo do solo com grade pesada e cultivado com leguminosas há doze anos; AD: preparo do solo com arado de discos e cultivado com leguminosas há doze anos; ESC: preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o cultivo mínimo com escarificador, com alternância bienal de gramíneas e leguminosas; PD1: preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o plantio direto, com alternância bienal de gramíneas e leguminosas; PD2: preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o plantio direto, com alternância bienal no verão de gramíneas e leguminosas, combinada com safrinha de leguminosas e gramíneas, respectivamente; PD3: preparo com arado de discos nos dois primeiros anos e arado de aivecas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se o plantio direto, com alternância anual de gramíneas e leguminosas; PAST: preparo com arado de discos e cultivo de gramíneas nos dois primeiros anos e arado de aivecas com leguminosas nos dois anos seguintes. A partir do quinto ano, utilizou-se pastagem, sem pastejo animal; CER: área de Cerrado *strictu sensu* contígua à área experimental, utilizada como ambiente de referência.

Apêndice D. Esquema de separação e utilização das amostras.



**Apêndice E.** Parâmetros e coeficientes de uma equação de regressão polinomial ortogonal.

<b>Descrição do comportamento</b>	<b>Parâmetros e coeficientes da equação que formam o polinômio</b>
Tendência zero (efeito médio dos tratamentos)	$y = p_0$
Tendência linear	$y = p_1x_L$
Tendência quadrática	$y = p_2x_Q$
Tendência cúbica	$y = p_3x_C$
Equação completa	$y = p_0 + p_1x_L + p_2x_Q + p_3x_C$

**Apêndice F.** Coeficientes para interpolação de polinômios ortogonais nos diferentes sistemas de manejo.

<b>Profundidade (cm)</b>	<b>X<sub>L</sub> linear</b>	<b>X<sub>Q</sub> quadrático</b>	<b>X<sub>C</sub> cúbico</b>
2,5	-5,8	19,62093	-51,3099
7,5	-3,8	-2,38629	60,80235
15	-0,8	-20,3971	41,29568
25	3,2	-16,4115	-83,0397
35	7,2	19,57402	32,25171