

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – *CAMPUS* RIO VERDE  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS

**MATÉRIA ORGÂNICA EM DIFERENTES SISTEMAS DE  
PRODUÇÃO NO CERRADO**

Autor: Paulo Roberto Gazolla  
Orientador: Prof. Dr Adriano Perin

**RIO VERDE - GO**

**Março - 2011**

# **MATÉRIA ORGÂNICA EM DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO NO CERRADO**

Autor: Paulo Roberto Gazolla  
Orientador: Prof. Dr Adriano Perin

Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - *campus* Rio Verde - Área de concentração Ciências Agrárias.

**RIO VERDE - GO**

**Março – 2011**

Gazolla, Paulo Roberto.

G291m Matéria orgânica em diferentes sistemas de produção no cerrado / Paulo Roberto Gazolla. – Rio Verde, 2011.  
70 f. : il.

Dissertação (mestrado) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Rio Verde, 2011.

Orientador: Dr. Adriano Perin.

Banca examinadora: Dra. Alessandro Guerra da Silva, Dr. Renato Lara de Assis, Dr. Adriano Perin.

Bibliografia.

1. Pecuária. 2. Lavoura. 3. Matéria orgânica - frações. 4. Sustentabilidade. 5. Integração lavoura pecuária I. Título. II. IFGoiano – Campus Rio Verde.

CDD 631.8

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica da Biblioteca Faustina Alves de Castro. IFGoiano – Campus Rio Verde.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO - *CAMPUS* RIO VERDE  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS

**MATÉRIA ORGÂNICA EM DIFERENTES SISTEMAS DE  
PRODUÇÃO NO CERRADO**

Autor: Paulo Roberto Gazolla  
Orientador: Prof. Dr Adriano Perin

TITULAÇÃO: Matéria orgânica em diferentes sistemas de produção no cerrado, APROVADA: em 10 de Março de 2011.

---

Prof. Dr Alessandro Guerra da Silva  
Universidade de Rio Verde

---

Prof. Dr Renato Lara de Assis  
Instituto Federal Goiano - campus Iporá

---

Prof. Dr Adriano Perin  
Instituto Federal Goiano - campus Rio Verde

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por proporcionar este belo mundo de muitas oportunidades, pela nossa vida e por tudo que temos ainda para viver nela.

Aos meus pais, José Roberto Gazolla e Valdenice Alves Flores Gazolla, pelos ensinamentos de vida, amor e apoio aos meus estudos.

A minha irmã, Ana Paula Gazolla, pelo companheirismo, compreensão, ajuda e por ter me apoiado nos meus estudos.

Agradeço a minha namorada Leidiane de Oliveira Peres, pelo carinho, companheirismo e por sempre ter me apoiado. Além de ser uma das pessoas mais especiais que eu conheço, tenho o privilégio de tê-la ao meu lado como minha carmetade.

Ao professor orientador e amigo Adriano Perin, pela imensurável contribuição no desempenho deste trabalho, pelo exemplo de profissionalismo, pela orientação, pela confiança e pelo incentivo que muito contribuiu para minha formação.

Aos colegas Roni Fernandes Guareschi, Jadson Belém de Moura, Gabriel Couto Salib e Celeste Rossi e todos os outros amigos, pela amizade e por terem me acompanhado no decorrer de todas as atividades deste trabalho.

Aos professores do curso de Ciências Agrárias do IFGoiano - campus Rio Verde, pela amizade, formação e conhecimentos adquiridos.

A CAPES, pela concessão da bolsa de pós-graduação.

A UFRRJ, pela realização das análises laboratoriais.

A todos os membros do corpo docente do Instituto Federal Goiano – campus - Rio Verde – GO, que participaram da minha formação e aprendizado.

***Muito Obrigado!***

## BIOGRAFIA DO AUTOR

Paulo Roberto Gazolla, nascido em 22 de Fevereiro de 1987, em Rio Verde, estado de Goiás, filho de José Roberto Gazolla e Valdenice Alves Flores Gazolla. Ingressou no Centro Federal de Educação Tecnológica de Rio Verde, no primeiro semestre do ano de 2004, no curso Técnico em Agropecuária, com conclusão em Dezembro de 2005. No primeiro semestre de 2006, ingressou no Centro Federal de Educação Tecnológica de Rio Verde, no curso Superior de Tecnologia em Produção de Grãos, com conclusão em Dezembro de 2008. Foi bolsista de Iniciação Científica pelo CNPq, nos anos de 2007 e 2008. Em março de 2009, ingressou no curso de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, pelo Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde, onde foi bolsista da CAPES.

## ÍNDICE

	Página
1. INTRODUÇÃO .....	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	17
2.1 Cerrado .....	17
2.2 Sistema Plantio Direto (SPD) .....	18
2.3 Pastagem .....	19
2.4 Integração Lavoura Pecuária (ILP).....	20
2.5 Cana-de-Açúcar .....	20
2.6 Matéria Orgânica do Solo (MOS).....	22
2.7 Fracionamento Físico da Matéria Orgânica do Solo .....	23
2.8 Fracionamento Químico da Matéria Orgânica do Solo .....	25
2.9 Índice de Manejo de Carbono.....	26
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	27
3.1 Áreas experimentais.....	27
3.1.1 Cana-de-açúcar .....	28
3.1.2 Sistema Integração Lavoura Pecuária.....	29
3.1.3 Sistema Plantio Direto .....	29
3.1.4 Pastagem .....	29
3.1.5 Cerrado.....	30

3.2 Caracterização da Área .....	30
3.3 Amostragem do solo .....	30
3.4 Amostragem dos Resíduos Vegetais.....	31
3.5 Avaliações das amostras de solo.....	31
3.5.1 Estoques de carbono .....	31
3.5.2 Fracionamento granulométrico da matéria orgânica do solo.....	32
3.5.3 Fracionamento químico da matéria orgânica do solo .....	32
3.5.4 Índice de Manejo de Carbono (IMC).....	33
3.6 Análises Estatísticas.....	34
4. RESULTADO E DISCUSSÃO .....	35
4.1 Aporte de Resíduos Vegetais .....	35
4.2 Caracterização da Composição Granulométrica do Solo .....	36
4.3 Caracterização Química do Solo .....	37
4.4 Densidade do solo, carbono orgânico total e estoque de carbono nos sistemas avaliados .....	41
4.5 Fracionamento Químico da Matéria Orgânica.....	47
4.6 Fracionamento Granulométrico da Matéria Orgânica .....	53
4.7 Índice de Manejo de Carbono .....	56
5. CONCLUSÕES .....	59
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60



## ÍNDICE DE TABELAS

	Página
<b>Tabela 1.</b> Composição textural do solo ( $\text{g kg}^{-1}$ ) nas profundidades nas diferentes áreas estudadas.....	37
<b>Tabela 2 -</b> Características químicas do solo nos sistemas avaliados. ....	38
<b>Tabela 3 –</b> Densidade do solo ( $\text{Mg dm}^{-3}$ ) nos sistemas de manejo avaliados.....	42
<b>Tabela 4 –</b> Carbono orgânico total ( $\text{g kg}^{-1}$ ) entre os sistemas de manejo e as profundidades avaliadas.....	43
<b>Tabela 5 –</b> Carbono fração ácido fúlvico ( $\text{g kg}^{-1}$ ) entre os sistemas de manejo e as profundidades avaliadas. ....	48
<b>Tabela 6 –</b> Carbono fração ácido húmico ( $\text{g kg}^{-1}$ ) entre os sistemas de manejo e as profundidades avaliadas. ....	50
<b>Tabela 7 –</b> Carbono fração humina ( $\text{g kg}^{-1}$ ) entre os sistemas de manejo e as profundidades avaliadas.....	51
<b>Tabela 8 –</b> Relação carbono entre fração ácido húmico e fração ácido fúlvico entre os sistemas de manejo e as profundidades avaliadas. ....	53
<b>Tabela 9 –</b> Matéria Orgânica Particulada ( $\text{g kg}^{-1}$ ) entre os sistemas de manejo e as profundidades avaliadas. ....	53

**Tabela 10** – Matéria Orgânica Mineral ( $\text{g kg}^{-1}$ ) entre os sistemas de manejo e as profundidades avaliadas. .... 55

**Tabela 11** – Índice de manejo de carbono (IMC) em função dos sistemas avaliados. .... 57

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
<b>Figura 1.</b> Dados climáticos mensais de temperatura e precipitação pluviométrica para os anos de 2007, 2008 e 2009, extraídos da Estação Meteorológica da Universidade de Rio Verde, localizada em Rio Verde – GO .....	28
<b>Figura 2.</b> Produção de resíduos vegetais sobre o solo ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) nos sistemas avaliados. ....	35
<b>Figura 3.</b> Estoque de Carbono ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) nos sistemas avaliados.....	46

## LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>	<b>Unidade</b>
MOS	Matéria Orgânica do Solo	-
C	Carbono	-
SPD	Sistema de Plantio Direto	-
ILP	Integração Lavoura Pecuária	-
FL	Fração Leve	-
FLI	Fração Leve Intra-agregado	-
FLL	Fração Leve Livre	-
HUM	Humina	-
IMC	Índice de Manejo de Carbono	-
pH	Poder hidrogênio	-
Ca <sup>+2</sup>	Cálcio	-
Mg <sup>+2</sup>	Magnésio	-
Na	Sódio	-
K	Potássio	-
P	Fósforo	-
Al <sup>+3</sup>	Alumínio	-
H	Hidrogênio	-
QP	Quantidade de Palha	-
Mg	Megagrama	kg 10 <sup>3</sup>
PA	Peso da amostra	-
COT	Carbono Orgânico Total	-
EstC	Estoque de Carbono	-
Ds	Densidade	-
e	Espessura	-
Ms	Massa seca	-
Vs	Volume solo	-
MOP	Matéria Orgânica Particulada	-
FAH	Fração Ácido Húmico	-
FAF	Fração Ácido Fúlvico	-
EA	Extrato Alcalino	-
IEC	Índice Estoque de Carbono	-
L	Labilidade	-
IL	Índice de Labilidade	-
COP	Carbono Orgânico Particulado	-
COM	Carbono Orgânico Mineral	-
CO	Carbono Orgânico	-
CV	Coefficiente de Variação	%
CTC	Capacidade Troca Catiônica	-
V%	Saturação de Bases	-
DIC	Delineamento Inteiramente Casualizado	-

## RESUMO

Gazolla, Paulo Roberto. **Matéria orgânica em diferentes sistemas de produção no Cerrado**. 2011. 70f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias). Instituto Federal de Goiano – campus Rio Verde. Orientador: Prof. Dr. Adriano Perin.

O objetivo desse trabalho foi avaliar a dinâmica da MOS em diferentes sistemas de manejo, com base no fracionamento químico e granulométrico e estoque de matéria orgânica. Foram utilizados os sistemas: integração lavoura-pecuária, sistema de plantio direto, pastagem, cana-de-açúcar e cerrado (utilizado como área de referência). As áreas se encontram localizadas na Usina de Açúcar e Álcool DEKAL, Fazenda Vargem Grande e Fazenda Cachoeira do Montividiu, localizadas nos municípios de Montividiu e Rio Verde, no sudoeste de Goiás. A maior produção de biomassa foi observada em sistema de plantio direto e integração lavoura pecuária. Os valores da fração particulada diferiram entre os sistemas avaliados em todas as profundidades. Os solos estudados apresentaram uma predominância de matéria orgânica mineral, para todos os sistemas analisados. Quanto às frações químicas da matéria orgânica, houve um predomínio do carbono da fração humina, seguidos pela fração ácidos fúlvicos e ácidos húmicos, em todos os sistemas avaliados. Quanto à sustentabilidade dos sistemas, a cana-de-açúcar apresentou maior redução de todas as frações da matéria orgânica do solo. A integração lavoura-pecuária se mostrou como o sistema de maior sustentabilidade das frações da MOS em condições de cerrado.

**Palavras-chave:** integração lavoura pecuária, sustentabilidade, frações da matéria orgânica.

## ABSTRACT

Gazolla, Paulo Roberto. **Organic matter in different production systems in Cerrado**. 2011. 70f. Dissertation (Magister in Agrarian Science). Institute Federal Goiano – campus Rio Verde. Advisor: Prof. Dr. Adriano Perin.

The objective of this study was to evaluate the dynamics of organic matter soil in different management systems based on chemical fractionation and particle size and organic matter stocks. The systems used were: crop-livestock integration, zero tillage, grazing, sugar cane and cerrado (used as a reference). The areas are located in the Sugar and Ethanol Plant DEKAL, Farm Vargem Grande and Cachoeira of Montividiu, from the cities of Montividiu and Rio Verde, in southwest of Goiás. The highest biomass yield was observed in zero tillage and crop-livestock integration. The values of the particulate fraction differed between the systems evaluated in all depths. The soils studied showed a predominance of organic matter mineral for all systems analyzed. For the chemical fractions of organic matter, there was a predominance of carbon humin fraction, followed by fulvic acid and humic acid in all systems evaluated. About systems sustainability, the sugar cane had a greater reduction of all fractions of soil organic matter. The crop-livestock integration system was shown to be of greater sustainability of organic matter soil fractions in cerrado region.

**Key works:** crop-livestock integration, sustainability, organic matter fractions.

## 1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, novos conceitos de sistemas de produção agrícola, baseados na conservação do solo, diversificação de culturas, reciclagem de nutrientes, uso sistemático de adubos orgânicos e outras práticas alternativas, têm sido desenvolvidos na tentativa de conciliar a produção com a conservação do meio ambiente.

O conteúdo de matéria orgânica do solo (MOS) é considerado um dos principais indicadores de sustentabilidade e qualidade ambiental em agroecossistemas. Sistemas conservacionistas de manejo promovem o aumento da MOS (Sá et al., 2001), contribuindo para que o solo desempenhe suas funções básicas, que consiste em promover o desenvolvimento da vida, garantindo a qualidade ambiental, a saúde animal e humana. A compreensão da dinâmica da MOS em agroecossistemas permite subsidiar estratégias de manejo que garantam seu incremento e a qualidade do solo ao longo do tempo.

Sistemas conservacionistas propiciam aumento da MOS ao longo do tempo. Estratégias como a adoção de práticas que consistem no aporte de resíduos vegetais ao solo, associadas a semeadura direta e/ou cultivo mínimo do solo, em adição as outras práticas conservacionistas de manejo, são indispensáveis para a manutenção ou aumento da MOS e para a sustentabilidade de agroecossistemas. O manejo dos solos tropicais para uso agrícola está, sem dúvida, na compreensão dos fatores que interferem na manutenção da MOS, mas, acredita-se que a estrutura física desses solos deva ser melhor estudada, porque é ela que protege e impede que parte do carbono do solo seja perdido na atmosfera (Machado et al., 2003; Deneff et al., 2007).

A necessidade de trabalhos que ilustrem o impacto do manejo das culturas comerciais, sobre os diferentes compartimentos da MOS, e de formas de manejo do

solo, visando aumento da sustentabilidade, entendendo como fatores que interferem nas mudanças, seja possível manipulá-los em prol de sistemas produtivos mais sustentáveis. Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi avaliar a dinâmica da MOS em diferentes sistemas de produção do sudoeste Goiano, para identificar sistemas que promovam maior aporte de carbono e sustentabilidade da produção agrícola.



## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Cerrado

O bioma Cerrado (entre 2°S e 23°S e entre 45°O e 63°O) cobre cerca de dois milhões de km<sup>2</sup>, representando mais de 24% do território brasileiro, sendo, em superfície, o segundo bioma (o primeiro é a Amazônia), composto por 1.027 municípios, distribuídos em 12 estados (Balbino et al., 2002).

No século XX, mais precisamente no final dos anos 30, a política governamental de integração nacional favoreceu uma ocupação lenta e contínua da região, que culminou com a construção de Brasília. O interesse pelo Cerrado atingiu o seu auge entre os anos 1960 e 1980, com o desenvolvimento de grandes projetos. As áreas transformadas pela agricultura e pela pecuária estão estimadas em 4,95x10<sup>6</sup> ha de pastagens cultivadas, 1,34x10<sup>6</sup> ha de cultivos anuais, 2x10<sup>6</sup> ha de cultivos perenes e 4,6x10<sup>6</sup> ha destinados a reservas (Sano et al., 2000).

O foco não é mais a abertura de novas áreas a serem incorporadas aos sistemas produtivos, mas, sim, manter e melhorar os sistemas produtivos por meio do controle das modificações no meio ambiente (Brossard & Barcellos, 2005). O Cerrado é visado por possuir características favoráveis para o cultivo de culturas anuais, como topografia plana que facilita a mecanização e condições climáticas adequadas.

A conversão do Cerrado em áreas agrícolas é feita através da derrubada e queima da vegetação natural, seguida da implantação da pastagem ou culturas anuais. Geralmente é feito o cultivo do arroz por até três anos sucessivos, com o objetivo de proporcionar melhores condições de preparo do solo, correção da sua fertilidade e redução dos custos de implantação, principalmente de espécies forrageiras (Souza et al., 2006). Historicamente, os solos das regiões Centro-Oeste e Norte foram primeiramente

ocupados com pastagem, e posteriormente, incorporados ao sistema de produção agrícola.

## **2.2 Sistema Plantio Direto (SPD)**

O sistema plantio direto (SPD) fundamenta-se em três princípios básicos: o mínimo revolvimento do solo; a prática de rotação de culturas; e a permanente cobertura do solo por culturas ou resíduos culturais. O menor revolvimento do solo, neste sistema melhora a relação macro e microporosidade, aeração e infiltração de água (Sá et al., 2001).

Os sistemas de manejo do solo têm grande influência nas propriedades físicas do solo. O SPD é uma técnica eficiente no controle da erosão, quando comparado com o sistema convencional (Seganfredo et al., 1997), porém alguns estudos indicam uma maior compactação no SPD no início da implantação do sistema, sendo provocada pelo tráfego de máquinas e acomodação natural das partículas sólidas (Streck et al., 2004).

O SPD apresenta potencial para mitigar a emissão CO<sub>2</sub>, uma vez que a rotação de culturas e a manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo proporcionam a decomposição lenta e gradual do material orgânico que, associado com a fração mineral do solo favorece o acúmulo da MOS. Six et al. (2002), verificaram que o acúmulo anual de C em solos cultivados no SPD em clima tropical, em torno de 325 kg C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> na camada 0-30 cm quando comparados ao sistema convencional. Os autores atribuíram este incremento à associação do material orgânico com as frações minerais dos solos, principalmente relacionado com os aumentos do conteúdo de argila.

### 2.3 Pastagem

O Cerrado brasileiro tornou-se a mais importante região produtora de carne bovina no país, sendo quase a totalidade dessa produção proveniente de sistemas extensivos de criação, caracterizados por baixa produtividade animal e baixo retorno econômico. Esses índices desfavoráveis refletem o manejo inadequado do sistema solo-planta-animal, praticados em grande parte das propriedades de pecuária, o que, conseqüentemente, predispõe à degradação das pastagens. Estes problemas podem ser revertidos pelo uso de tecnologias como calagem, adubação, maquinários e irrigação (Klink & Moreira, 2002). Estima-se que no Cerrado se encontra aproximadamente 44% do rebanho bovino brasileiro e cerca de 49 milhões de hectares de pastagens cultivadas (Sano et al., 2000) onde predomina a espécie *Brachiaria decumbens*.

Nesta região, as pastagens cultivadas, quando bem manejadas, com adubação de manutenção, lotação adequada para a época do ano e o tipo de pastagem implantado na pastagem, com elevada produção de massa seca (10 a 12 Mg ha<sup>-1</sup>) associadas ao não revolvimento do solo, geralmente promovem a manutenção e o acúmulo de MOS. Estimando os estoques de C em pastagens sob diferentes tipos de manejo em solos de Cerrado, Silva et al. (2004) verificaram tanto perdas quanto acúmulo de C nos sistemas analisados, dependendo do manejo da pastagem. Segundo os mesmos autores, pastagens bem manejadas, com adubação de manutenção e consórcio com leguminosas, favorecem o acúmulo de C no solo, enquanto pastagens degradadas e com altas taxas de lotação ou seja, super pastejadas tendem a perder C. Portanto, o manejo incorreto das pastagens tem sido prejudicial na manutenção da sustentabilidade e responsável pelo menor sequestro de C e conseqüente maior emissão de CO<sub>2</sub> à atmosfera, principalmente pelo uso de queima na formação de novas áreas de pastagens. Medidas para a recuperação juntamente com o manejo adequado e a reposição da fertilidade do solo

garantem a sustentação da produção de carne, além de minimizar os impactos ambientais. Resultados de pesquisa comprovam que, a intensificação do uso das pastagens pode contribuir para o sequestro de C atmosférico (Allard et al., 2007).

## **2.4 Integração Lavoura Pecuária (ILP)**

A integração lavoura pecuária (ILP) pode ser definida como um sistema de produção, na mesma área, de pastagens anuais ou perenes, destinadas à produção animal, e culturas destinadas à produção vegetal, sobretudo grãos.

Nesse sentido, a alternativa mais apropriada é o uso de sistemas de produção que ocupem intensamente os recursos disponíveis nos agroecossistemas, concomitante à melhoria da qualidade do solo, base da produção vegetal e animal, reduzindo o consumo de insumos e gerando maior renda por área. A qualidade do solo se refere à sua capacidade de funcionar dentro dos limites de um ecossistema, sustentando o rendimento biológico, mantendo a qualidade do ambiente e promovendo a saúde de plantas e animais (Singer & Ewing, 2000). Nesse contexto, a ILP pode auxiliar no alcance desses objetivos, já que pressupõe o uso contínuo das áreas agrícolas e a melhoria da qualidade do solo ao longo do tempo (Entz et al., 2002; Rao et al., 2003).

## **2.5 Cana-de-Açúcar**

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar com cerca de 620 milhões de toneladas produzidas na safra 2009/2010, numa área de 7,5 milhões de hectares (CONAB, 2009).

O aumento da produção da cana-de-açúcar em Goiás foi consequência da expansão de área (4,7% a.a. entre 1970 e 2005), a qual se deu em detrimento das áreas de outras culturas temporárias. Em 2007, a área colhida de cana-de-açúcar foi similar a

área colhida de soja (21,34 milhões de ha) em Goiás, sendo considerado como uma importante fronteira agrícola para a cultura da cana-de-açúcar (Vieira Junior et al., 2008).

No sistema de produção da cana-de-açúcar, a queima da biomassa foliar tem sido uma prática comum, visando facilitar as operações de corte, carregamento e transporte dos colmos. A queima acarreta em emissões de gases como CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, principais responsáveis pelo efeito estufa. Esta prática também libera fuligem, que causa incômodo e possíveis danos à saúde das populações circunvizinhas da lavoura (Cançado et al., 2006). A política pública de proibição da queima e o desenvolvimento de máquinas colhedoras têm proporcionado um crescimento no Brasil da cana colhida "crua", ou seja, sem queima, com manutenção da palhada no solo. Existem projeções de que 80% da área plantada na região Centro-Sul (onde está a maior parte da produção) seja colhida sem queima em 2014.

Estudos recentes têm sinalizado que a manutenção da palhada sobre o solo, altera as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. São relatados efeitos significativos da manutenção da palhada em fatores físicos do solo, como variabilidade espacial da temperatura e umidade, densidade do solo (Tominaga et al., 2002), estabilidade de agregados e velocidade de infiltração (Graham et al., 2002). Em diversos experimentos, uma correlação entre a manutenção da palhada da cana-de-açúcar e o aumento dos teores de carbono total do solo tem sido observada, com influência de variáveis como tempo de adoção do sistema sem queima, textura do solo e grau de revolvimento do solo na reforma do canavial (Graham et al., 2002; Canellas et al., 2003).

## 2.6 Matéria Orgânica do Solo (MOS)

As atividades agrícolas visam a produção de alimentos e produtos em quantidade e com qualidade para a sociedade presente. Contudo, o aumento populacional na demanda por alimentos exige uma demanda crescente aprimoramento das técnicas agrícolas, sendo as culturas as principais responsáveis pela adição de compostos orgânicos sintetizados no processo de fotossíntese, utilizando energia solar, CO<sub>2</sub> do ar, água e nutrientes do solo (Lovato et al., 2004).

O uso do solo na agricultura, depois de retirar a vegetação natural, tem frequentemente mostrado alterações nas propriedades biológicas, químicas e físicas, dependentes das condições do solo, do clima, do tipo de cultura e das práticas culturais adotadas (Marchiori Júnior & Melo, 2000). A MOS pode ser alterada com maior ou menor intensidade, dependendo do sistema agrícola instalado, sendo um dos atributos mais sensíveis às transformações desencadeadas pelo manejo. A composição e as propriedades dessa matéria orgânica variam de acordo com o material orgânico original, com as condições de decomposição, com a biossíntese e com o tempo considerado, evidenciando o efeito do tipo de cobertura vegetal sobre o teor e a distribuição dos componentes orgânicos em solos tropicais (Longo & Spíndola, 2000). O efeito do preparo do solo na distribuição da MOS se deve aos diferentes graus de revolvimento do solo (Bayer & Bertol, 1999).

O termo “matéria orgânica do solo” se refere a todos os compostos que contêm C orgânico no solo, oriundos da decomposição de microrganismos vivos e mortos, resíduos oriundos da decomposição de plantas e animais e substâncias orgânicas microbiologicamente e/ou quimicamente alteradas (Silva et al., 2004). Dentre os componentes do solo, a matéria orgânica é aquela que mais se relaciona com os parâmetros de qualidade, físicos, químicos ou biológicos, potencializando

características como a resistência do solo à erosão, taxa de infiltração e retenção de água no solo, capacidade de troca catiônica, estoque de nutrientes e a atividade biológica (Mielniczuk et al., 2003).

Grande parte da MOS consiste em uma série de compostos ácidos não humificados e macromoléculas humificadas. O primeiro grupo é representado pelos compostos orgânicos, incluindo carboidratos, gorduras, ceras e proteínas e constituem de 10 a 15 % da matéria orgânica dos solos minerais. O segundo grupo e o principal é representado pelas substâncias húmicas, que constituem de 85 a 90% (Pinheiro et al., 2004a), o que explica o fato de parte considerável da pesquisa com matéria orgânica estar focada para o estudo das frações húmicas do solo, fácil e rapidamente degradadas pelos microrganismos do solo.

A decomposição da MOS é aumentada por distúrbios físicos que destroem os macroagregados e expõe a matéria orgânica previamente protegida à oxidação pela ação da biomassa microbiana do solo. Esse processo pode afetar severamente a qualidade do solo, reduzir a produtividade das culturas em médio prazo e aumentar os riscos de erosão e de emissão de CO<sub>2</sub>.

## **2.7 Fracionamento Físico da Matéria Orgânica do Solo**

O SPD pode preservar os teores de C orgânico total e em todas as frações húmicas, em razão dos sistemas conservacionistas de manejo promoverem o aumento do conteúdo de MOS (Sá et al., 2001), enquanto o preparo convencional do solo provoca perdas de C orgânico total, sendo que essas perdas são verificadas em todas as frações húmicas. Os diversos tipos de fracionamento utilizados em estudos da MOS visam separar frações homogêneas quanto à natureza, dinâmica e função, mas, ao mesmo tempo, suficientemente diferentes umas das outras (Christensen, 2000). O

fracionamento físico-densimétrico da MOS é uma ferramenta importante nos estudos que envolvem mudanças nos sistemas de uso e manejo do solo. O uso do fracionamento físico-densimétrico nos estudos da MOS, possibilita a separação de diferentes compartimentos orgânicos, a fração leve (FL), correspondente à matéria orgânica não complexada, divide-se em: leve livre (FLL) - constituída por materiais orgânicos derivados principalmente de restos de vegetais, mas que contêm quantidades de resíduos microbianos e da microfauna e apresenta rápida taxa de transformação; e leve intra-agregado (FLI) - constituída de parte da FL incorporada e fisicamente estabilizada em macroagregados ( $> 250 \mu\text{m}$ ), compreendendo um variado conjunto de compostos orgânicos, com tamanho reduzido e grau de decomposição mais avançado em comparação a FLL (Freixo et al., 2002). A FLL tem sido considerada como um atributo que reflete as mudanças quando submetida a diferentes sistemas de cultivo (Pinheiro et al., 2004b), cada qual respondendo, de forma distinta, às diferentes práticas de uso e manejo do solo (Freixo et al., 2002).

A base teórica do fracionamento físico do solo enfatiza o papel dos minerais do solo na estabilização e ciclagem da MOS (Christensen, 2001). O fracionamento físico é considerado uma técnica menos destrutiva quimicamente em comparação ao fracionamento químico. Sendo os resultados obtidos das frações relacionadas mais diretamente à estrutura e função da MOS no solo (Christensen, 2001). O fracionamento físico é dividido pela separação por densidade e por tamanho das partículas organo-mineral primária do solo. Alguns autores combinam os dois métodos para melhor compreensão da dinâmica da MOS para fins de modelagem (Sohi et al., 2001).

Pinheiro et al. (2004b) através do fracionamento físico-densimétrico, ao avaliarem a distribuição das frações orgânicas leves livres e intra-agregados de um Latossolo Vermelho de acordo com o tipo de cobertura vegetal e preparo do solo,



observaram que as maiores quantidades de fração leve (livre e intra-agregado) foram encontradas na cobertura vegetal com gramínea, não havendo diferença entre os sistemas de preparo do solo, sendo que os teores de C da fração leve livre demonstram ser mais sensíveis quando comparados aos da fração leve intra-agregado na avaliação dos diferentes sistemas de preparo de solo. Em contrapartida, a fração leve livre é mais sensível à degradação pelo cultivo, podendo ser utilizada como indicador da diminuição do conteúdo de MOS.

## **2.8 Fracionamento Químico da Matéria Orgânica do Solo**

O fracionamento químico da MOS consiste na extração de substâncias húmicas do solo e obtenção de três principais frações: ácidos fúlvicos, húmicos e humina. As substâncias húmicas são constituídas de uma série de compostos de coloração escura, de elevado peso molecular, separadas com base em características de solubilidade. São classificadas em: humina (fração insolúvel em meio alcalino); ácidos húmicos (fração escura extraída em meio alcalino (NaOH e Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) e insolúvel em meio ácido diluído); ácidos fúlvicos (fração colorida alcalino-solúvel que se mantém em solução após a remoção dos ácidos húmicos por acidificação). Alguns autores consideram ainda os ácidos himatomelânicos – fração solúvel em álcool dos ácidos húmicos (Stevenson, 1994). Mesmo que a descrição das estruturas moleculares dessas frações ainda se encontram em estágio de definição, sabe-se que são compostas por estruturas aromáticas e cadeias alifáticas, de peso molecular variável e de composição química complexa, apresentando-se mais estável que a fração leve da MOS à degradação química e biológica.

O fracionamento químico modificado por Benites et al. (2003), que consiste na extração de substâncias húmicas do solo baseada em diferenças na solubilidade das

mesmas em soluções ácidas ou alcalinas e posterior obtenção de três principais componentes: fração ácido húmico (FAH), que é solúvel em extrato alcalino, mas se precipita sob acidificação; a fração ácido fúlvico (FAF), que é a fração que permanece em solução quando o extrato alcalino é acidificado, e humina (HUM) que é a fração que não pode ser extraída de solos e sedimentos por diluição ácida ou básica, ou seja, é o resíduo da separação das outras duas frações.

Para obtenção dessas frações e comparação dos resultados com outros trabalhos, adota-se o método preconizado pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas e adaptado por Benites et al. (2003), por ser um procedimento adequado para os vários tipos de solos e que pode ser conduzido na maioria dos laboratórios.

## **2.9 Índice de Manejo de Carbono**

A busca da sustentabilidade socioeconômica da exploração agrícola ou de uma nova condição de equilíbrio do sistema de produção é um grande desafio, que envolve dentre outros, o manejo adequado do solo, associado a rotações e/ou consorciações culturais (Soares et al., 2005).

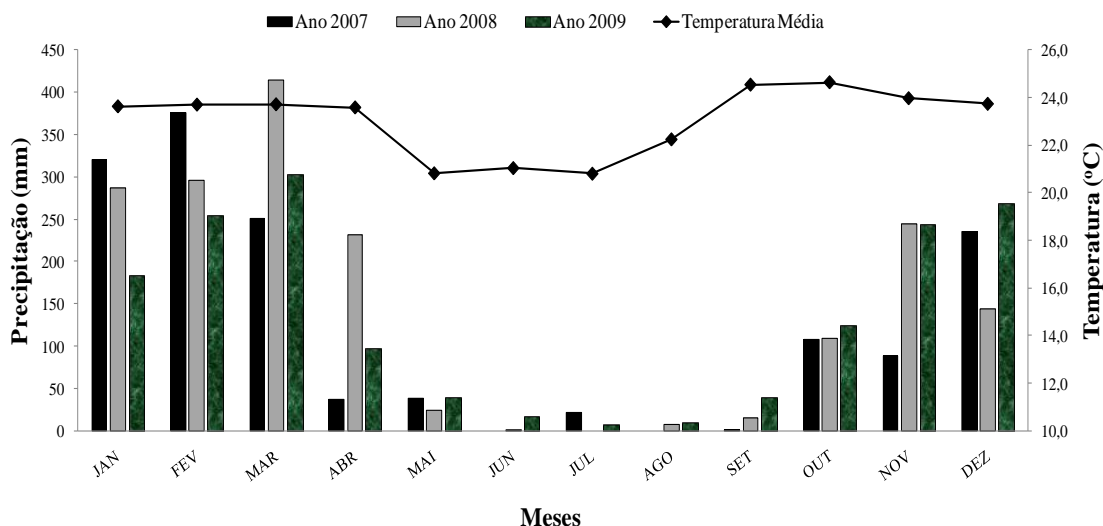
A matéria orgânica tem se mostrado um excelente indicador de qualidade do solo. Mielniczuk (2003) a considera como o atributo que melhor representa a qualidade do solo, por causa da sua sensibilidade às práticas de manejo. O declínio dos estoques de MOS ao longo do tempo está intimamente ligado ao manejo adotado na atividade agrícola, a uma situação insustentável do ponto de vista econômico ou ambiental. Contudo, a simples quantificação dos estoques de carbono total ou de suas frações e a comparação com as condições do solo no seu estado original não fornecem valores capazes de serem extrapolados para situações de manejo diferentes das avaliadas.

Em função disso, existe a necessidade de obtenção de índices que possam avaliar a capacidade do sistema de manejo em promover a qualidade do solo e a sustentabilidade dos agroecossistemas. O índice de manejo de carbono (IMC) proposto por Blair et al. (1995), é uma medida relativa das alterações causadas pelo manejo comparando-as a uma situação considerada original ou ideal (este sistema pode ser o solo em estado natural de floresta ou pastagem natural). O IMC leva em consideração a labilidade (% de mineralização) da MOS e buscando unir as características quantitativas e qualitativas da MOS, como forma de avaliar o desempenho de um determinado sistema de manejo. Frações de carbono obtidas por métodos físicos têm sido utilizadas preferencialmente para a estimativa deste índice (Diekow et al., 2005; De Bona, 2006; Nicoloso et al., 2008; Conceição et al., 2005).

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Áreas experimentais**

O estudo foi realizado em área de Cerrado, nos municípios de Rio Verde (17° 47' S; 50° 55' W e altitude 780 m) e Montividiu (17° 27' S; 51° 04' W e altitude de 930 m), localizados na região sudoeste de Goiás. A média anual de precipitação oscila entre 1500 a 1800 mm ano<sup>-1</sup>, e a temperatura média anual é de 23°C (Figura 1). As amostras de solo foram coletadas em Setembro do ano de 2009.



**Figura 1.** Dados climáticos mensais de temperatura e precipitação pluviométrica para os anos de 2007, 2008 e 2009, extraídos da Estação Meteorológica da Universidade de Rio Verde, localizada em Rio Verde – GO.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC). As áreas de estudo foram demarcadas com um tamanho de 2500 m<sup>2</sup>, parcelas de 50 x 50 m. Em cada área foram abertas 4 trincheiras com dimensões de 1 m x 1 m e 0,4 m de profundidade.

### 3.1.1 Cana-de-açúcar

A área de cana-de-açúcar coletada foi cedida pela Usina de açúcar e álcool DEKAL, situada no município de Rio Verde-GO, na seguinte referência geográfica (S 17° 34' 12,2"; W 051° 2' 45,1"; altitude 779 m), com cultivo há 10 anos. A área não foi reformada e o manejo de corte da cana é realizado utilizando a queima das plantas e posterior corte manual. A colheita da cana é feita por volta dos meses de maio a junho, sendo que após o corte do canavial é realizado uma adubação de cobertura da soca, utilizando N e K, para manutenção do canavial. Não é realizada nenhuma irrigação ou fertirrigação na área em que o estudo foi realizado.

### **3.1.2 Sistema Integração Lavoura Pecuária**

A área de sistema integração lavoura-pecuária foi disponibilizada pela Fazenda Vargem Grande, situada no município de Montividiu-GO, na seguinte referência geográfica (S 17° 19' 27,3"; W 051° 29' 29,3"; altitude 962 m). A área escolhida para realização do estudo apresentava uma boa cobertura do solo, apresentando palha de milho e brachiaria na superfície. Esta área é cultivada com este sistema há cinco anos de cultivo do milho consorciado com a *Brachiaria decumbens*, antes do sistema ser implantado a área era cultivada em sistema de plantio direto.

### **3.1.3 Sistema Plantio Direto**

A área de estudo do sistema plantio direto foi disponibilizada na Fazenda Cachoeira do Montividiu, situada no município de Montividiu-GO. A área se apresenta na seguinte referência geográfica (S 17° 25' 16,6"; W 051° 23' 8,1"; altitude 933m). A área foi escolhida por apresentar um sistema de plantio direto, com 10 anos de implantação, em que se cultiva soja, milho, sorgo e girassol. A coleta foi realizada sobre palhada de milho safrinha, sendo que no verão a área foi cultivada com soja.

### **3.1.4 Pastagem**

A área de pastagem foi coletada na Fazenda Vargem Grande, um pasto de brachiaria, que recebe durante a estação chuvosa, fertilizante nitrogenado para manutenção do pasto. A pastagem foi implantada a cerca de 10 anos e apresenta um manejo adequado para o tipo de pastagem, com a lotação adequada para a pastagem, a área apresenta a seguinte referência geográfica (S 17° 21' 17,8"; W 051° 28' 47,8"; altitude 938m).

### **3.1.5 Cerrado**

A área de Cerrado para a coleta de dados para o experimento está localizada na Fazenda Vargem Grande, cerrado considerado cerradão. Esta área já foi utilizada para outros estudos, por apresentar estado de conservação natural, sem interferência do homem e representar as condições naturais da região. Localiza-se na seguinte coordenada geográfica (S 17° 21' 49,9"; W 051° 28' 37,9"; altitude 951m).

### **3.2 Caracterização da Área**

Para caracterização química das áreas, foram coletadas amostras de solo nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, sendo posteriormente realizadas as análises de pH,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ , P,  $\text{Al}^{3+}$ , H+Al de acordo com Embrapa (1997). A granulometria das amostras foi determinada após dispersão com  $\text{NaOH}$  1 mol  $\text{L}^{-1}$ , homogeneização em baixa rotação por 16 horas, conforme modificação proposta por Rezende (1979). O teor de argila total foi determinado na suspensão, pelo método da pipeta (Day, 1965).

### **3.3 Amostragem do solo**

Para a determinação da densidade do solo, foram coletadas amostras indeformadas com anel de Kopecky nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, com quatro repetições mediante abertura de pequenas trincheiras transversais às linhas de semeadura. As amostras foram identificadas e acondicionadas em sacos plásticos. Em seguida foram transportadas para o Laboratório de Solos do Instituto Federal Goiano – campus Rio Verde, secadas ao ar e peneiradas a 2 mm.

Juntamente com as amostras indeformadas, foram coletadas amostras de solo (500 gramas) nas diferentes profundidades analisadas, para realizar as análises de

fracionamentos químico, físico e análise de rotina química e física das amostras, estas últimas para caracterização das áreas amostradas.

### **3.4 Amostragem dos Resíduos Vegetais**

Para a determinação da palhada proveniente dos resíduos vegetais, foram coletadas quatro amostras em cada sistema de produção, avaliando todos os resíduos vegetais contidos em 1 m<sup>2</sup>. Para isso, foi utilizado um gabarito de metal (1 m x 1 m), que foi lançado aleatoriamente nas áreas, sendo coletado todo o material contido na área delimitada. A coleta foi realizada em setembro de 2009. O material foi seco a 65°C por 72h em estufa de circulação forçada de ar, e posteriormente pesado para a determinação da produção de massa seca. A quantidade de massa de seca foi expressa em Mg ha<sup>-1</sup> pela seguinte equação:

$$QP = PA * 10$$

Em que: QP = quantidade de palha (Mg ha<sup>-1</sup>); PA = peso da amostra seca coletada em 1 m<sup>2</sup> (kg).

### **3.5 Avaliações das amostras de solo**

#### **3.5.1 Estoques de carbono**

O carbono orgânico total (COT) foi determinado por oxidação a quente com dicromato de potássio (0,2 mol L<sup>-1</sup>) e titulação com sulfato ferroso amoniacal (0,05 mol L<sup>-1</sup>), segundo Embrapa (1997). O estoque de carbono foi calculado a partir da expressão:

$$EstC = (COT \times Ds \times e) / 10$$

em que: EstC = estoque de carbono em determinada profundidade (Mg ha<sup>-1</sup>);  
COT = teor de carbono orgânico (g kg<sup>-1</sup>); e = espessura da camada avaliada (cm).

A densidade do solo ( $D_s$ ) foi determinada dividindo a massa de solo seco a  $105^\circ\text{C}$  pelo volume total da amostra (Blake & Hartge, 1986), segundo a equação:

$$D_s = M_s/V_t$$

em que:  $D_s$  = densidade do solo ( $\text{Mg m}^{-3}$ ),  $M_s$  = massa do solo (Mg) e  $V_t$  = volume total do solo ( $\text{m}^3$ ).

### **3.5.2 Fracionamento granulométrico da matéria orgânica do solo**

O fracionamento granulométrico da MOS foi realizado segundo Cambardella & Elliot (1992). Pesaram-se 20 g de solo e 60 mL de solução de hexametáfosfato de sódio ( $5\text{g L}^{-1}$ ). Em seguida as amostras foram agitadas por 16 horas em agitador horizontal. Após a homogeneização foi realizado o peneiramento úmido, utilizando peneira de  $53\ \mu\text{m}$ . O material retido na peneira, que consiste na MOP (matéria orgânica particulada) associada à fração areia, e o que passou pela peneira de diâmetro de malha de  $53\ \mu\text{m}$  (frações silte e argila) foi seco em estufa a  $50^\circ\text{C}$ , moído em gral de porcelana e analisado quanto ao teor de C orgânico segundo Embrapa (1997).

### **3.5.3 Fracionamento químico da matéria orgânica do solo**

Para a extração e o fracionamento químico das amostras de solo foi utilizada a técnica de solubilidade diferencial (Swift, 1996), com adaptação de Benites et al. (2003), obtendo-se o carbono orgânico na fração ácidos fúlvicos (FAF), fração ácidos húmicos (FAH) e humina (HUM). Para tal, pesou-se uma massa de solo que possuía 30 mg de carbono orgânico submetidos ao contato com 20 mL de NaOH  $0,1\ \text{mol L}^{-1}$  por um tempo de 24h (extração alcalina - EA). A separação entre o extrato alcalino (EA = FAF + FAH) e o resíduo foi feita por centrifugação a 5000 g por 30 minutos. Seguiu-se mais uma lavagem com a mesma solução anterior, juntando o extrato com o



anteriormente obtido, resultando em volume final de aproximadamente 40 mL. O resíduo foi reservado para determinação da humina (HUM). O pH do extrato alcalino (EA) foi ajustado a 1,0 com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 20%, seguido de decantação por 18h. O precipitado (FAH) foi separado da fração solúvel (FAF) por filtragem e ambos os volumes aferidos a 50 ml com água destilada.

A determinação quantitativa do carbono orgânico nas FAF e FAH foi feita usando alíquotas de 5,0 mL de extrato, 1,0 mL de dicromato de potássio 0,042 mol L<sup>-1</sup> e 5,0 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado, em bloco digestor a 150°C (30min) e titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,0125 mol L<sup>-1</sup>. No resíduo, foi determinado o carbono orgânico na fração HUM, após secagem do material em estufa a 65°C (secagem completa) e adicionando 5,0 mL de dicromato de potássio 0,1667 mol L<sup>-1</sup> e 10,0 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado, em bloco digestor a 150°C (30min) e titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,25 mol L<sup>-1</sup> (Yeomans & Bremner, 1988).

### **3.5.4 Índice de Manejo de Carbono (IMC)**

Para obtenção do IMC, necessita-se do índice de estoque de carbono (IEC), sendo este índice calculado a partir da relação entre o COT de cada área em relação ao COT da área tomada como referência (cerrado). A labilidade (L) da MOS foi determinada pela relação entre COP e COM e o índice de labilidade (IL) calculado pela relação entre a L de cada área e a L da área referência (Blair et al., 1995).

A estimativa do IMC foi realizada com base na soma dos valores médios das profundidades analisadas e, como condição natural, o solo sob cerrado utilizado como referência (IMC = 100).

Diekow et al, (2005) demonstrou ser possível a utilização dos estoques de MOP para o cálculo do IMC, considerando que a fração particulada da MOS fosse

proporcional à fração lábil. Desta forma, o cálculo do IMC é realizado pela seguinte expressão:

$$\text{IMC} = \text{IEC} \times \text{IL} \times 100$$

em que: IEC = índice de estoque de carbono e IL = índice de labilidade. O IEC é calculado pela expressão apresentada a seguir:

$$\text{IEC} = C_t \text{ tratamento} / C_t \text{ referência}$$

em que:  $C_t$  tratamento = estoque de COT no tratamento avaliado,  $C_t$  referência = estoque de COT num tratamento de referência, normalmente no solo sobre vegetação nativa. O “IL” é calculado da seguinte maneira:

$$\text{IL} = L \text{ tratamento} / L \text{ referência}$$

em que, L tratamento = Labilidade da Mos no tratamento avaliado, L referência = Labilidade da MOS no tratamento de referência. O L é calculado pela expressão apresentada a seguir:

$$L = \text{EstMOP} / \text{EstMOM}$$

em que, EstMOP = estoque de CO na fração particulada da MOS, EstMOM = estoque de CO na fração associada a minerais da MOS.

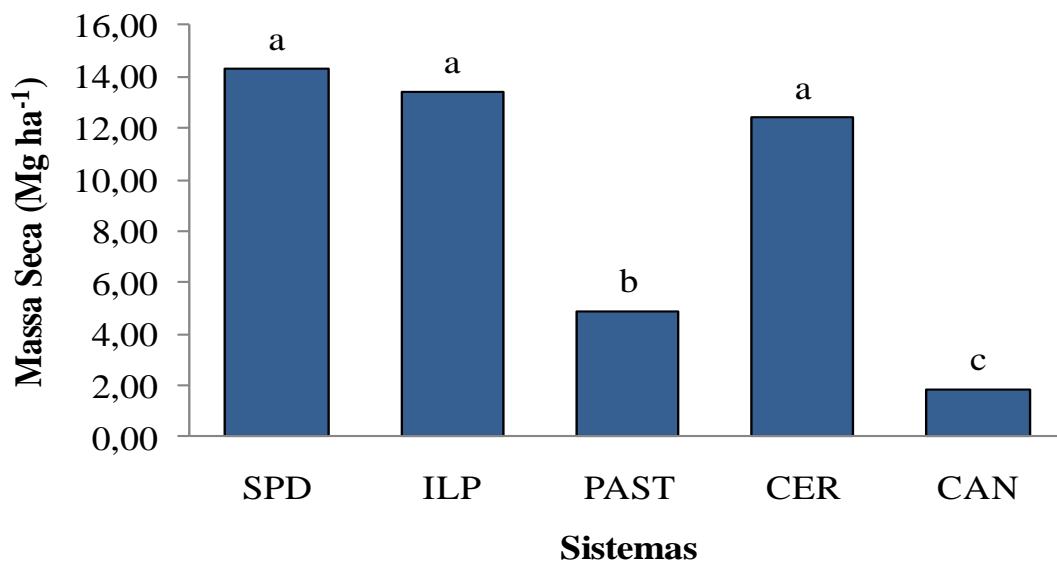
### **3.6 Análises Estatísticas**

Foram realizadas análises de variância para identificar as diferenças significativas entre os tratamentos (sistemas de manejo do solo e profundidades) pelo procedimento ANOVA. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. As análises foram realizadas através do programa ASSISTAT (Silva & Azevedo, 2002).

## 4. RESULTADO E DISCUSSÃO

### 4.1 Aporte de Resíduos Vegetais

Houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os sistemas avaliados no aporte de resíduos vegetais sobre o solo, em que os sistemas SPD, ILP e cerrado apresentaram aporte de resíduos vegetais estatisticamente semelhantes e superiores as áreas de pastagem e cana-de-açúcar. Constatou-se que a pastagem apresentou maior produção de resíduos vegetais que a cana-de-açúcar (Figura 2).



**Figura 2.** Produção de resíduos vegetais sobre o solo (Mg ha<sup>-1</sup>) nos sistemas avaliados. SPD Sistema de Plantio Direto; ILP Integração Lavoura Pecuária; PAST Pastagem; CER Cerrado; CAN Cana-de-Açúcar. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade (CV% = 10,63).

O fato do SPD e ILP obterem produções de resíduos vegetais semelhantes ao cerrado e superiores a pastagem e a cana-de-açúcar, demonstram que estes sistemas conservacionistas possuem uma elevada capacidade de produção de resíduos fazendo com que as taxas de entrada se equilibrem com as taxas de mineralização, formando um sistema equilibrado de manutenção de palha no sistema. Outro fator para que estes sistemas apresentaram alta produção de massa seca, pode ser a época de amostragem

que foi realizada no período seco do ano e assim favorecer a baixa produção de massa seca da pastagem devido ao pastejo do gado.

Esta maior produção de resíduos vegetais do SPD e ILP pode ser atribuída as características da massa seca das plantas avaliadas e pela alta relação C/N dos resíduos vegetais gerados (palhada de milho no SPD) e (palhada de milho + brachiaria na ILP), associado a lenta mineralização e a maior cobertura do solo. Segundo Pereira et al, (2009) as características da *Brachiaria decumbens*, como, a excelente adaptação a solos de baixa fertilidade, fácil estabelecimento e considerável produção de massa seca durante o ano, tem proporcionado excelente cobertura vegetal do solo para o sistema plantio direto. A adoção do sistema de integração lavoura pecuária beneficia o agricultor, porque, além de formação e recuperação das pastagens permite a produção de grãos, na mesma área (Cobucci, 2001). Ceccon et al, (2009), avaliando o desempenho da *B. decumbens* semeada no estágio V4 do milho, obteve uma produção de 9,02 Mg ha<sup>-1</sup> de massa verde e 3,1 Mg ha<sup>-1</sup> de matéria seca aos 60 dias após o plantio. Severino et al. (2005) observaram em seus resultados, rendimento da *B. decumbens* consorciada com a cultura do milho 160 dias após o plantio, produção de 32 Mg ha<sup>-1</sup> de massa verde.

A maior produção de resíduos vegetais sobre o solo da pastagem em relação à cana-de-açúcar, pode ser atribuído a baixa manutenção dos restos vegetais da cana-de-açúcar quando colhida no sistema de queima. Igualmente, Souza et al, (2005) verificaram que no tratamento com cana queimada, a quantidade de material vegetal deixado na superfície do solo é menor (3 Mg ha<sup>-1</sup>).

#### **4.2 Caracterização da Composição Granulométrica do Solo**

Através da análise granulométrica foi verificada uma diferença na composição textural em relação aos teores de argila das áreas estudadas (Tabela 1), sendo que a ILP

é classificada como muito argilosa (teor de argila acima de 600 g kg<sup>-1</sup>); já a pastagem, o SPD e o cerrado apresentaram na classificação granulométrica valores entre 360 e 600 g kg<sup>-1</sup> sendo classificados como de textura argilosa e a área de cana-de-açúcar classificada como de textura arenosa apresentando um teor de argila de 150 g kg<sup>-1</sup>.

**Tabela 1** - Composição textural do solo (g kg<sup>-1</sup>) nas profundidades nas diferentes áreas estudadas.

	Profundidades			
	0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 20 cm	20 - 40 cm
<b>ILP</b>				
Argila	475	625	692	709
Silte	129	145	112	95
Areia	397	230	197	197
<b>PASTAGEM</b>				
Argila	342	306	339	372
Silte	62	117	100	67
Areia	577	561	561	477
<b>SPD</b>				
Argila	372	439	389	304
Silte	150	100	83	69
Areia	477	461	528	628
<b>CERRADO</b>				
Argila	354	521	554	287
Silte	52	85	102	85
Areia	594	394	344	628
<b>CANA-DE-AÇÚCAR</b>				
Argila	155	155	172	189
Silte	100	100	67	66
Areia	745	745	761	745

ILP: Integração Lavoura Pecuária; SPD: Sistema de Plantio Direto

### 4.3 Caracterização Química do Solo

Na Tabela 2, são apresentados os resultados da análise química do solo, entre os sistemas analisados, que apresentaram interação significativa para as seguintes características: P, pH, Ca, Mg, CTC, V% e Al, porém não foi observado diferença significativa para K nos tratamentos avaliados.

**Tabela 2** - Características químicas do solo nos sistemas avaliados.

Sistemas*	Profundidades			
	0 - 5 cm	5 - 10 cm	10 - 20 cm	20 - 40 cm
	P			
ILP	6,23 bAB	9,42 abA	3,09 aAB	0,72 aB
PASTAGEM	2,76 bA	1,86 bA	1,60 aA	1,15 aA
SPD	4,30 bA	6,38 abA	4,33 aA	0,84 aA
CERRADO	4,15 bA	1,70 bA	0,78 aA	0,35 aA
CANA-DE-AÇÚCAR	28,46 aA	9,84 aB	5,07 aB	4,35 aB
	pH			
ILP	5,70 aA	5,00 abB	4,60 bBC	4,47 bC
PASTAGEM	5,40 aA	5,27 aA	5,20 aA	5,40 aA
SPD	5,70 aAB	5,20 aB	5,23 aB	5,87 aA
CERRADO	4,53 bA	4,40 cA	4,20 bA	4,33 bA
CANA-DE-AÇÚCAR	5,23 aA	4,47 bcB	4,50 bB	4,53 bB
	Ca			
ILP	53,47 aA	20,53 abB	11,33 abC	6,40 aC
PASTAGEM	24,67 cA	21,73 abA	17,33 aAB	12,40 aB
SPD	35,47 bA	26,93 aA	16,27 aB	9,20 aB
CERRADO	16,93 cA	7,33 cB	4,80 bB	3,87 aB
CANA-DE-AÇÚCAR	20,13 cA	13,73 bcAB	12,53 abAB	7,87 aB
	Mg			
ILP	19,47 aA	11,60 abB	8,53 aB	9,07 aB
PASTAGEM	22,27 aA	16,53 aB	12,27 aBC	10,53 aC
SPD	21,47 aA	15,87 aB	9,20 aC	7,87 aC
CERRADO	13,07 bA	10,00 bAB	11,73 aAB	7,73 aB
CANA-DE-AÇÚCAR	9,87 bA	6,93 bA	7,73 aA	6,93 aA
	CTC			
ILP	132,56 bA	110,79 bB	99,37 bB	72,63 bC
PASTAGEM	112,58 cA	103,51 bAB	90,06 bB	67,36 bC
SPD	105,31 cA	95,52 bAB	88,00 bB	65,30 bcC
CERRADO	180,50 aA	150,10 aB	121,63 aC	89,49 aD
CANA-DE-AÇÚCAR	57,57 dA	46,40 cA	54,63 cA	48,88 cA
	V%			
ILP	56,31 abA	29,75 bB	20,94 bcB	21,89 abB
PASTAGEM	45,34 bA	38,07 abA	32,77 abA	33,98 aA
SPD	56,48 abA	46,05 aA	30,34 abB	27,91 abB
CERRADO	17,39 cA	12,02 cA	14,17 cA	13,35 bA
CANA-DE-AÇÚCAR	60,08 aA	49,17 aAB	37,50 aBC	31,02 aC
	Al			
ILP	0,5 bC	3,2 bBC	6,3 aA	5,2 aAB
PASTAGEM	0,7 bA	2,0 bA	2,0 bA	0,8 bA
SPD	0,0 bA	0,7 bA	1,7 bA	1,3 bA
CERRADO	6,2 aB	9,5 aA	9,0 aA	5,5 aB
CANA-DE-AÇÚCAR	2,2 bA	2,0 bA	2,0 bA	3,3 abA

\* ILP: Integração Lavoura Pecuária e SPD: Sistema de Plantio Direto; V%: Saturação por bases; CTC: Capacidade de Troca Catiônica. Letra minúscula na coluna e maiúscula na linha.

Considerando os valores de fósforo (P) (Tabela 2), observa-se que ocorre uma redução dos teores conforme aumenta a profundidade analisada para a cana-de-açúcar.

Para os demais sistemas não foi observado esta redução, em que os teores de fósforo permaneceram e não decresceram com a profundidade. Na profundidade de 0 - 5 cm observa-se que a cana-de-açúcar apresentou um elevado teor de P diferenciando dos demais sistemas, que apresentaram valores semelhantes entre si, entretanto nas camadas mais profundas do solo, de 10 - 20 cm e 20 - 40 cm não foram observadas diferenças significativas entre os sistemas analisados. Entretanto para a camada de 5 - 10 cm o SPD, a ILP e a cana-de-açúcar apresentaram teores de P semelhantes entre si e superiores ao cerrado e a pastagem.

A pastagem apresentou os maiores valores de pH do solo em todas as profundidades analisadas, e concomitantemente com o cerrado não apresentou redução significativa do pH com o aumento da profundidade (Tabela 2). O cerrado apresentou na profundidade de 0-5 cm o menor pH do solo, diferindo dos demais sistemas, na profundidade de 5 - 10 cm o cerrado apresentou o menor pH do solo em relação aos demais sistemas, seguido da cana-de-açúcar que verificaram valores intermediários de pH estes inferiores ao pH do SPD, ILP e da pastagem. Nas demais profundidades a pastagem e o SPD apresentaram valores superiores quando comparados com a ILP, cana-de-açúcar e cerrado.

Para o Ca observou-se uma redução significativa no teor quando compararam os teores em superfície com os valores em profundidade, na profundidade de 20 - 40 cm observa-se na Tabela 2, que não houve diferenças significativas entre os sistemas, nas profundidades intermediárias o SPD apresentou os maiores valores em comparação aos demais sistemas de produção, sendo o cerrado o sistema em que foram observados os menores valores de Ca, confirmando assim a baixa fertilidade destes solos, e os benefícios do manejo do solo pela introdução dos sistemas de culturas anuais, porque em função da adição de calcário, a reciclagem de cálcio via decomposição de resíduos e

ao aumento da CTC efetiva do solo, capaz de reter mais cátions nessa camada (Souza & Alves, 2003).

Em relação aos valores de Mg, observa-se que ocorreu um declínio dos teores em função do aumento da profundidade nos sistemas avaliados, exceto para a cana-de-açúcar que demonstrou níveis semelhantes de Mg em todas as profundidades. Para as profundidades de 10 – 20 cm e 20 – 40 cm não foi observada diferença estatística entre os sistemas avaliados, entretanto quando se analisa dos dados nas profundidades 0 – 5 cm e 5 – 10 cm observa-se que o cerrado e a cana-de-açúcar apresentaram valores inferiores quando comparados aos SPD, ILP e a pastagem, que apresentaram resultados semelhantes entre si.

Como pode ser observado na Tabela 2, a CTC do solo de cana-de-açúcar é inferior às demais áreas. Esse resultado provém do fato de que a área de cana-de-açúcar apresenta textura diferente das demais áreas, sendo classificada como arenosa, e solos arenosos apresentam naturalmente menor CTC que solos argilosos. Segundo Frazão et al. (2008), a baixa reserva mineral dos solos arenosos está associada a sua baixa capacidade de troca de cátions (CTC), que por sua vez predispõem estes solos ao processo de lixiviação do nutrientes. Desta forma, para solos de textura arenosa a maior parte da CTC está associada à matéria orgânica que normalmente é baixa. Esta informação corrobora com os dados deste trabalho, em que o solo estudado da área de cana-de-açúcar apresenta teor de matéria orgânica abaixo de 2%, considerado baixo em relação as demais áreas de estudo.

O cerrado apresenta os maiores valores de CTC quando comparados aos demais sistemas, resultado este favorecido pelo cerrado apresentar altos índices de matéria orgânica, favorecendo o aumento da CTC do solo.



Observam-se níveis de saturação de bases (V%) adequados para todos os sistemas de produção avaliados. O cerrado apresentou os menores valores de V% nas profundidades avaliadas, ressaltando que solos de cerrado nativo possuem elevado grau de intemperização o que confere baixos teores de bases e elevados níveis de hidrogênio e alumínio, o que diminui o pH do solo, tornando os solos ácidos. A pastagem apresentou índices de V% elevados em todas as profundidades e não decrescendo com a profundidade, intensificando a importância do sistema radicular agressiva do *brachiaria* para a conservação e sustentabilidade dos solo em profundidade.

Em relação aos dados de Al, observa-se que o cerrado apresenta valores que são considerados tóxicos (acima de  $4,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), em todas as profundidades analisadas, visto que os solos de cerrado são, em sua grande maioria, originalmente ácidos e pobres em nutrientes essenciais para as plantas. Esta baixa fertilidade natural é corrigida pelos sistemas de cultivos (Balbino et al., 2003), fato observado nos demais sistemas analisados em que se observa uma redução significativa no teor de Al tóxico no solo.

#### **4.4 Densidade do solo, carbono orgânico total e estoque de carbono nos sistemas avaliados**

Para a densidade do solo (Ds), a análise de variância apresentou interação significativa entre os sistemas de manejo e as profundidades analisadas (Tabela 3). Observa-se que independente da profundidade analisada, o cerrado e a cana de açúcar apresentaram a menor e a maior Ds respectivamente quando comparado aos demais sistemas.

**Tabela 3** – Densidade do solo ( $\text{Mg dm}^{-3}$ ) nos sistemas de manejo avaliados.

Sistemas	Profundidades (cm)			
	0 - 5	5 - 10	10 - 20	20 - 40
ILP	0,99 cA	1,04 cA	1,09 bA	1,10 bA
PASTAGEM	1,20 bA	1,17 bA	1,15 bA	1,16 bA
SPD	1,06 cA	1,14 bcA	1,17 bA	1,13 bA
CERRADO	0,62 dC	0,75 dB	0,89 cA	0,93 cA
CANA DE AÇÚCAR	1,61 aB	1,61 aB	1,74 aA	1,72 aAB

ILP: Integração Lavoura Pecuária; SPD: Sistema de Plantio Direto. \* Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, são estatisticamente iguais entre si (Tukey, 5%). CV% = 5,44.

Os maiores valores da cana-de-açúcar pode ser atribuída ao intenso tráfego de máquinas e implementos agrícolas na área, e o efeito da textura do solo deste sistema, pois a fração areia e uma partícula mais pesada que as demais fazendo com que o solo apresente uma maior densidade. Dados semelhantes foram relatados por Silva et al. (2000), que avaliaram a resistência mecânica do solo à penetração pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo em Latossolo Vermelho, e constatando aumento da resistência à penetração na profundidade sendo os valores obtidos considerados restritivos ao desenvolvimento radicular.

Na profundidade 0-5 cm, a pastagem apresentou maior Ds que o SPD e a ILP, que assemelharam entre si (Tabela 3). Este resultado pode ter ocorrido possivelmente devido ao pisoteio do gado, em condições de elevada umidade e com elevado número de animais por área, o qual acarretou uma compactação superficial do solo. Resultados semelhantes foram demonstrados por Silva et al. (2008) onde o pisoteio de animais, tanto em área sob pastagem cultivada como em área de Cerrado nativo pastejado, promoveu alterações severas nos atributos físico-hídricos da camada de 5 a 10 cm (Silva et al., 2008).

Nas demais profundidades o SPD, a ILP e a pastagem apresentaram Ds semelhantes entre si (Tabela 3). As Ds observadas nas áreas SPD, ILP, pastagem e

cerrado não apresentam nenhuma restrição ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas, porém os valores obtidos na cana-de-açúcar ( $1,65 \text{ Mg m}^{-3}$ ), estão acima do valor crítico de desenvolvimento para a maioria das culturas comerciais (Reinert & Reichert, 2001).

Nota-se na tabela 4 que o teor de COT nos primeiros 10 cm de solo foi maior no cerrado, seguido pela área de ILP. As áreas de SPD e pastagem apresentaram valores similares de COT, sendo inferiores ao cerrado e ILP e superiores ao de cana-de-açúcar. Na profundidades de 20 a 40 cm, as áreas de SPD, ILP e pastagem apresentaram semelhança entre si, sendo apenas evidente a diferença entre a área de cana-de-açúcar (menor valor) e o cerrado (maior valor).

**Tabela 4** – Carbono orgânico total ( $\text{g kg}^{-1}$ ) entre os sistemas de manejo e as profundidades avaliadas.

Sistemas	Profundidades (cm)			
	0 - 5	5 - 10	10 - 20	20 - 40
ILP	73,61 bA	52,94 bB	47,90 abB	33,28 abC
PASTAGEM	47,90 cA	42,85 bcAB	33,78 bcBC	24,13 bcC
SPD	44,87 cA	37,30 cAB	31,76 cAB	25,71 bcB
CERRADO	103,36 aA	91,76 aA	56,47 aB	44,36 aB
CANA DE AÇÚCAR	23,89 dA	15,05 dA	15,58 dA	12,46 cA

ILP: Integração Lavoura Pecuária; SPD: Sistema de Plantio Direto. \* Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, são estatisticamente iguais entre si (Tukey, 5%). CV% = 17,27.

Pode-se inferir que os maiores valores de carbono orgânico total do cerrado nos 10cm do perfil do solo ocorrem devido a seu maior aporte de resíduos vegetais na superfície do solo (Tabela 4) e por ser um sistema que não ocorreu ação antrópica. Numa situação estável, normalmente em solos sob vegetação nativa inalterada, os teores de MOS se mantêm estáveis ao longo do tempo, a medida que as adições de C orgânico via resíduos de vegetais e a sua conversão em MOS, são da mesma magnitude que as perdas de C orgânico pela mineralização da MOS, promovidas pela atividade microbiana (Sanchez, 1976).

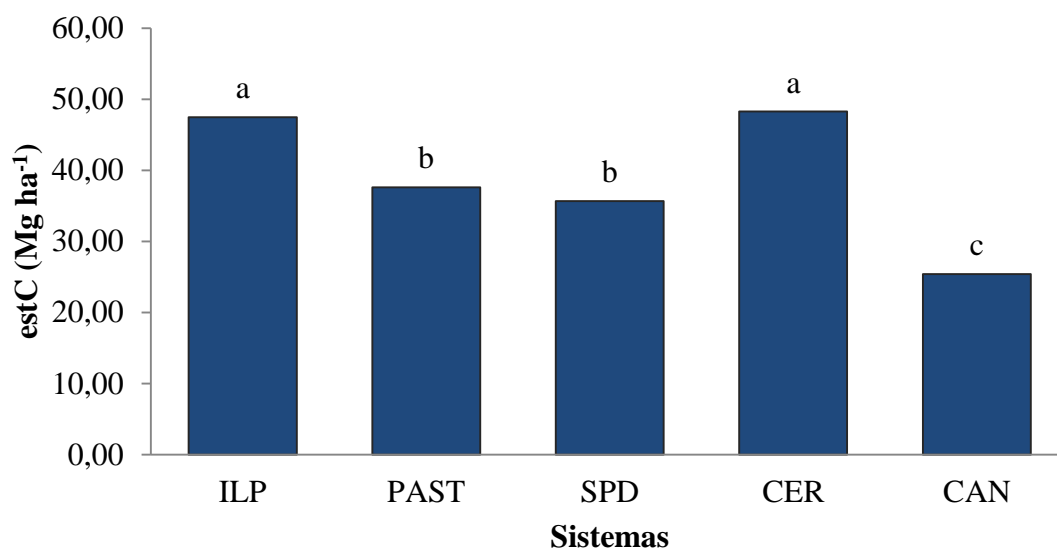
Em contrapartida, a área de cana foi o sistema que apresentou os menores valores de COT nas profundidades 0-5 cm e 5-10 cm. Esse resultado demonstra a importância do aporte de resíduos vegetais depositados em superfície para aumento do teor de COT. Como descrito anteriormente (Figura 2), a área de cana foi a que apresentou o menor aporte de resíduos vegetais na superfície do solo. O menor teor de argila em relação aos demais sistemas pode influenciar na dinâmica do carbono orgânico do solo. Resultados de pesquisa comprovam que em solos arenosos com queima da palhada de cana-de-açúcar, o teor de carbono na camada 0-10 cm decresce de 40-50 g kg<sup>-1</sup> para 17 g kg<sup>-1</sup>, e para 33 g kg<sup>-1</sup> em solo argiloso, após 20 a 30 anos de cultivo contínuo (Dominy et al., 2002).

A pastagem e o SPD mostraram-se valores semelhantes (Tabela 4). Esses resultados demonstram a influência do manejo do solo na dinâmica da matéria orgânica. Em um estudo realizado por D'Andréa et al. (2004) que analisaram o estoque de carbono em solo submetido a diferentes sistemas de manejo, constataram que a pastagem, principalmente com *B. decumbens*, é promissora em promover aumentos nos estoques de COT do solo em profundidade. Este padrão também pode ser verificado no SPD, desde que seja adotado a rotação de culturas.

Observa-se na Tabela 4 que nos sistemas cerrado, pastagem, SPD e ILP ocorre uma redução do COT com o aumento da profundidade, sendo relatada por diversos trabalhos (Freitas et al., 2000; Freixo et al., 2002, D'Andrea et al., 2004). Ao estudar a taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho, após 10 anos sob SPD, Tormena et al. (2004) verificaram maiores valores de carbono orgânico na camada superficial das áreas estudadas, confirmando que os sistemas utilizados proporcionaram aumento e/ou manutenção nos teores de COT, principalmente na camada de 0 - 10 cm (D'Andrea et al., 2004).

Para o estoque de carbono (EstC) constataram diferenças significativas entre os sistemas analisados, em que o sistema ILP e o cerrado foram superiores em relação aos demais sistemas de manejo. Já as áreas de pastagem e SPD apresentaram EstC semelhantes, superiores a área de cana-de-açúcar (Figura 3).

O elevado estoque de carbono na área de ILP, demonstra a elevada capacidade deste sistema em acumular o carbono no solo em relação aos demais sistemas de manejo analisados. A produção e a decomposição dos resíduos vegetais possibilitam a transferência de matéria orgânica, nutrientes e energia da vegetação para o solo, e o seu reaproveitamento pela biota. Práticas de manejo do solo que contemplem sistemas de culturas com máxima adição de resíduos vegetais (uso de plantas de cobertura) e o revolvimento mínimo do solo (SPD ou cultivo mínimo) propiciam a manutenção ou incremento da MOS do solo ao longo do tempo (Sá et al., 2001). De modo que a sustentabilidade agrônômica, econômica, ecológica e social dos sistemas de produção agropecuários no Cerrado, beneficiam os sistemas ILP e SPD. Nestes sistemas, a cobertura do solo favorece o acúmulo de matéria orgânica, que por sua vez permite manter o solo protegido permanentemente contra a degradação, sobretudo pela erosão, além de impedir a perda da macrofauna do solo (Barros et al., 2004).



**Figura 3.** Estoque de Carbono (Mg ha<sup>-1</sup>) nos sistemas avaliados. SPD Sistema de Plantio Direto; ILP Integração Lavoura Pecuária; PAS Pastagem; CER Cerrado; CAN Cana-de-Açúcar. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade (CV% = 18,8).

O menor EstC da área de cana-de-açúcar é devido a queima para a realização da colheita, ou seja, esse manejo ocasiona menor aporte de resíduos vegetais e de MOS no solo. Tais resultados coincidem com aqueles relatados por Razafimbelo et al. (2006), que observaram redução de 15% no EstC com queima da palhada em comparação ao manejo mecanizado (sem queima) para a profundidade de 0-10 cm. Da mesma forma, Campos et al. (2007) verificaram que a quantidade de C acumulado no solo cultivado com cana foi menor que o C encontrado sob a mata.

As mudanças no manejo e manutenção dos resíduos culturais podem auxiliar no incremento e restauração dos níveis de C orgânico no solo, na sustentabilidade do sistema de produção e uso do solo (Suman et al., 2009). O manejo sem queima da palha da cana-de-açúcar proporciona deposição anual de 10 a 15 Mg ha<sup>-1</sup> de matéria seca na superfície do solo (Sartori & Leão, 2002). Esta deposição pode proporcionar diversos benefícios no solo, tais como melhoria das condições físicas, químicas e biológicas (Six et al., 2002). Davidson & Ackerman (1993) relatam 30% de perdas de carbono do solo, 20 anos após a conversão de floresta em cultivo de cana-de-açúcar. Silva et al. (2007),

descrevendo um estudo com cana conduzido no formato de cronosequência, observaram um decréscimo acentuado no carbono total do solo logo após a conversão da vegetação nativa.

A manutenção da MOS depende do aporte de compostos orgânicos, principalmente derivados de resíduos vegetais. O sistema plantio direto, devido à mínimos revolvimento do solo e manutenção dos resíduos vegetais sobre o solo, aliado ao sistema de rotação de culturas com elevada adição de massa seca, são fundamentais para o aumento dos estoques de carbono do solo e preservação das propriedades a ele associadas (Lovato et al., 2004; Loss et al., 2009 e Nicoloso et al., 2008).

#### **4.5 Fracionamento Químico da Matéria Orgânica**

Observou-se para a fração ácido fúlvico (FAF) interação significativa entre os sistemas e as profundidades (Tabela 5). O cerrado apresentou maior quantidade da FAF, em todas as profundidades, sendo superior quando comparado aos demais sistemas. As frações ácidos fúlvicos e fração ácido húmico (FAH), por apresentarem menor estabilidade, podem ser polimerizadas ou mineralizadas, diminuindo assim, o teor residual no solo (Fontana et al., 2006). O sistema da cana-de-açúcar não apresentou diferença significativa entre as profundidades, o que pode ser influenciado pela baixa presença de resíduos vegetais na superfície do solo. Isto influencia a dinâmica de formação das substância húmicas do solo, pois mudanças no manejo e manutenção dos resíduos culturais podem auxiliar no incremento e restauração dos níveis de C orgânico no solo, auxiliando a sustentabilidade do sistema de produção e o uso do solo (Suman et al., 2009).

**Tabela 5** – Carbono fração ácido Fúlvico ( $\text{g kg}^{-1}$ ) entre os sistemas de manejo e as profundidades avaliadas.

Sistemas	Profundidades (cm)			
	0-5	5-10	10-20	20-40
ILP	1,09 cB	2,12 abA	2,21 bcA	1,72 bAB
PASTAGEM	2,27 bA	1,74 bAB	1,56 cAB	1,17 bB
SPD	2,01 bAB	2,12 abAB	2,71 bA	1,27 bB
CERRADO	4,11 aB	2,83 aC	5,34 aA	4,71 aAB
CANA-DE-AÇÚCAR	1,66 bcA	1,27 bA	1,52 cA	1,37 bA

ILP: Integração Lavoura Pecuária; SPD: Sistema de Plantio Direto. \* Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, são estatisticamente iguais entre si (Tukey, 5%). CV% = 20,43.

O sistema de ILP apresentou um aumento significativo de FAF da camada 0-5 cm para a camada 10-20 cm de profundidade (Tabela 5). Este comportamento caracteriza-se pela migração de FAF para camadas mais profundas do solo, segundo Souza & Melo (2003), acrescentam ainda que o C orgânico dos ácidos fúlvicos aumenta no sentido das camadas mais profundas, enquanto o C dos ácidos húmicos reduz no mesmo sentido. Isso corrobora os resultados deste trabalho, exceto no solo de cana-de-açúcar (Tabelas 5 e 6).

Na profundidade de 0-5 cm, o cerrado e a ILP apresentaram respectivamente o maior e o menor valor de FAF (Tabela 5). A pastagem, SPD e cana-de-açúcar foram estatisticamente semelhantes e inferiores ao cerrado (Tabela 5), resultado este proveniente do aporte de resíduos vegetais depositados na superfície do solo, pois estes sistemas apresentaram quantidade de resíduos vegetais superior aos demais sistemas analisados. Já aos 5-10 cm, o cerrado, SPD e ILP apresentaram valores de FAF semelhantes. Dos 10 aos 20 cm, o cerrado apresentou o maior valor de FAF em relação aos demais tratamentos. Nota-se também que o SPD apresentou teor de FAF semelhante a ILP e superior a pastagem e cana-de-açúcar. Na última camada avaliada (20 aos 40cm), o cerrado apresentou isoladamente o maior teor de FAF em relação aos demais sistemas de cultivo. De maneira geral, nota-se que independente da profundidade, o



cerrado sempre apresenta os maiores valores de FAF, por ser um sistema em que o acúmulo de MOS e mineralização apresenta equilíbrio, ou seja, um sistema em que a quantidade de resíduos depositada no sistema garante a manutenção da MOS. Resultados semelhantes foram descritos por Fernandes et al. (1999), onde ao avaliar um cerrado nativo no estado de Mato Grosso do Sul, constaram predominância de AF.

Para a FAH, observou-se decréscimo significativo no teor para os sistemas analisados exceto a cana-de-açúcar, que apresentou valores semelhantes para as profundidades analisadas (Tabela 6). Araújo et al. (2004) observaram que a FAF e FAH decresceram, em profundidade, de maneira semelhante, corroborando com os resultados encontrados para FAH neste estudo. Em estudos de modificações químicas de um Argissolo Vermelho-Amarelo no horizonte superficial sob SPD, Rheinheimer & Kaminski (1998), encontraram valores de FAH maior na camada de 0-5 cm em relação a camada de 20-40 cm. Esses autores ressaltam que em sistemas de plantio direto a não incorporação dos resíduos culturais promove um intenso processo biológico nas camadas superficiais do solo, de forma que haja uma grande e constante quantidade de carbono facilmente decomponível, influenciando diretamente na dinâmica do sistema, inclusive na complexação de alumínio e na disponibilidade de nutrientes. Com a atividade microbiana mais equilibrada, os processos de ressíntese das substâncias húmicas são favorecidos, aumentando seus teores, especialmente FAF e FAH (Rheinheimer & Kaminski, 1998).

**Tabela 6** – Carbono fração ácido húmico ( $\text{g kg}^{-1}$ ) entre os sistemas de manejo e as profundidades avaliadas.

Sistemas	Profundidades (cm)			
	0-5	5-10	10-20	20-40
ILP	2,75 bA	2,58 bcAB	2,37 bcAB	1,70 bcB
PASTAGEM	2,92 bA	1,82 cB	1,50 cB	1,46 bcB
SPD	2,31 bA	2,20 bcA	1,65 cAB	1,11 cB
CERRADO	7,89 aA	6,10 aB	6,13 aB	4,38 aC
CANA-DE-AÇÚCAR	2,68 bA	2,78 bA	2,79 bA	2,38 bA

ILP: Integração Lavoura Pecuária; SPD: Sistema de Plantio Direto. \* Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, são estatisticamente iguais entre si (Tukey, 5%). CV% = 16,07.

O cerrado apresentou valores de FAH mais elevados quando comparados com os demais sistemas, em todas as profundidades. Para 0-5 cm, o sistema de ILP, SPD, pastagem e cana-de-açúcar apresentaram resultados semelhantes e nas demais profundidades a pastagem, o SPD e a ILP apresentaram menores quantidades de ácido fúlvico, enquanto os demais sistemas apresentaram valores, intermediários. O estoque de C em solos agricultáveis, assim como a ciclagem dos compostos orgânicos são amplamente condicionados pelas práticas de manejo, pois a manutenção de cobertura do solo durante o ano, com ênfase nos períodos de maior precipitação e maiores temperaturas, assim como um aporte contínuo e abundante de resíduos vegetais, servem para contrabalançar a rápida decomposição pelos agentes decompositores, além de contribuir para a manutenção dos estoques de C. Além destes fatores, textura, mineralogia, espécie de material vegetal e constituição química dos resíduos vegetais assumem importância no sistema (Conant et al., 2001; Leifeld & Kögel-Knabner, 2005; Bayer & Mielniczuk, 2008).

Em comparação com a FAF e a FAH, a fração húmica (HUM) apresentou valores muito elevados (Tabela 7). Loss et al, (2009) também observou maiores contribuições de carbono na fração HUM estudando solos em diferentes sistemas de produção orgânica. Na análise das propriedades químicas e físicas em solos do estado

do Acre em áreas de mata natural, mata recém-desbravada e submetida à queima intensa (Pupunha com dois anos de cultivo e pastagem de braquiária), Araújo et al. (2004) encontraram maiores valores de carbono na fração HUM em detrimento das FAF e FAH, corroborando aos resultados encontrados neste trabalho. Rosales et al. (1999), avaliando o estoque total de carbono orgânico e seus compartimentos, em Argissolo sob floresta e milho cultivado com adubação mineral e orgânica, verificaram maiores valores de HUM em todos os sistemas de produção.

**Tabela 7** – Carbono fração humina ( $\text{g kg}^{-1}$ ) entre os sistemas de manejo e as profundidades avaliadas.

Sistemas	Profundidades (cm)			
	0-5	5-10	10-20	20-40
ILP	20,27 bA	21,85 bA	12,55 aB	9,25 aB
PASTAGEM	11,37 cA	8,45 cAB	6,52 bB	5,65 bB
SPD	12,25 cA	11,97 cA	7,77 bB	6,77 abB
CERRADO	37,70 aA	28,42 aB	12,15 aC	10,10 aC
CANA-DE-AÇÚCAR	6,12 dA	4,10 dA	4,87 bA	4,45 bA

ILP: Integração Lavoura Pecuária; SPD: Sistema de Plantio Direto. \* Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, são estatisticamente iguais entre si (Tukey, 5%). CV% = 14,32.

A HUM apresentou o mesmo padrão das demais substâncias húmicas, constatando maiores valores no cerrado e menores na cana-de-açúcar (Tabela 7). Entretanto a ILP, apresentou valores relativamente maiores que os demais sistemas analisados, sendo que na profundidade de 10-20 cm e 20-40 cm este sistema foi semelhante ao cerrado, demonstrando a capacidade de sustentabilidade deste sistema na formação de substâncias húmicas. Longo & Espíndola (2000) afirmam que a maior permanência da HUM no solo deve-se à sua insolubilidade e resistência à biodegradação, ocasionada pela formação de complexos metálicos estáveis ou complexos argilo-húmicos. Segundo Canellas et al. (2001), a maior parte do C orgânico

total no solo é composto basicamente pelas HUM, por ser a fração que se encontra intimamente associada à fração mineral do solo.

A cana-de-açúcar não apresentou diferença nos valores de HUM com o aumento da profundidade, entretanto os demais sistemas apresentaram decréscimo dos valores com o aumento da profundidade (Tabela 7). Resultados obtidos por Robertson & Thorburn (2007) avaliando C total em áreas com seis anos de cultivo de cana na Austrália em três condições climáticas (Subtropical, Tropical e Tropical úmido) verificaram que na região tropical nas áreas de cana-de-açúcar com e sem queima apresentaram diferença significativa com maior teor na área sem queima em relação a área com queima para a maioria das avaliações até a profundidade de 10 cm, maiores valor de C na forma de HUM implica, em última instância, maior retenção de água, melhor estruturação do solo e maior retenção de cátions, características de extrema importância quando se trata de estudo e desenvolvimento de sistemas sustentáveis de produção agrícola (Souza & Melo, 2003).

Quanto à relação FAH/FAF, detectou-se diferenças significativas nas profundidades analisadas apenas para o sistema ILP e cerrado, para os demais sistemas não houve diferença significativa nas profundidades estudadas (Tabela 8). O sistema SPD, apresentou a menor relação FAH/FAF, entretanto valores estes próximos de 1, nas profundidade 5-10cm e 20-40cm. Dados semelhantes foram encontrados por Fontana et al. (2001) encontraram valores da relação FAH/FAF superiores a 1, indicando que, nessas áreas, há predomínio da FAH em relação a FAF, apresentando um material orgânico mais estável. Leite et al. (2003) encontraram maior proporção FAH/FAF no solo sob floresta atlântica quando comparado com solo sob sistemas de produção. Segundo Canellas et al. (2001), valor da relação FAH/FAF próximo a 1 confere maior equilíbrio entre as frações humificadas reativas.

**Tabela 8** – Relação Carbono entre Fração Ácido húmico e Fração Ácido Fúlvico entre os sistemas de manejo e as profundidades avaliadas.

Sistemas	Profundidades (cm)			
	0-5	5-10	10-20	20-40
ILP	2,60 aA	1,23 bB	1,11 abB	1,04 abB
PASTAGEM	1,33 bcA	1,08 bA	0,95 bA	1,37 abA
SPD	1,19 cA	1,06 bA	0,62 bA	0,92 bA
CERRADO	1,97 abA	2,17 aA	1,15 abB	0,93 bB
CANA-DE-AÇÚCAR	1,70 bcA	2,27 aA	1,86 aA	1,78 aA

ILP: Integração Lavoura Pecuária; SPD: Sistema de Plantio Direto. \* Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, são estatisticamente iguais entre si (Tukey, 5%). CV% = 27,25.

#### 4.6 Fracionamento Granulométrico da Matéria Orgânica

Os valores de matéria orgânica particulada (MOP) apresentaram redução significativa em todos os sistemas analisados, com o aumento de profundidade (Tabela 9).

**Tabela 9** – Matéria Orgânica Particulada ( $\text{g kg}^{-1}$ ) entre os sistemas de manejo e as profundidades avaliadas.

Sistemas	Profundidades (cm)			
	0-5	5-10	10-20	20-40
ILP	28,90 bA	20,85 bB	17,00 aC	12,19 aD
PASTAGEM	19,48 cA	13,19 cB	10,70 bC	8,76 bC
SPD	21,24 cA	18,66 bB	12,19 bC	11,74 aC
CERRADO	78,41 aA	46,12 aB	19,22 aC	11,81 aD
CANA-DE-AÇÚCAR	5,31 dA	3,65 dAB	2,34 cBC	1,26 cC

ILP: Integração Lavoura Pecuária; SPD: Sistema de Plantio Direto. \* Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, são estatisticamente iguais entre si (Tukey, 5%). CV% = 6,53.

Os sistemas de manejo do solo não apresentam o mesmo teor de MOP presente no solo de cerrado. Entretanto, a área de cana-de-açúcar apresentou os menores valores de MOP, demonstrando efeito negativo da queima da palha da cana-de-açúcar no momento da colheita. Silva et al. (2007), usando o método descrito em Cambardella e Elliot (1992) na determinação de matéria orgânica particulada em um Latossolo Amarelo cultivado com cana-de-açúcar, descreveram acentuado declínio inicial do teor

de MOP após a conversão de floresta para cana-de-açúcar. Em diversos experimentos, uma correlação entre a manutenção da palhada da cana-de-açúcar e o aumento dos teores de carbono total do solo tem sido observada, com influência de variáveis de tempo de adoção do sistema sem queima, textura do solo e grau de revolvimento do solo na reforma do canavial (Graham et al., 2002; Canellas et al., 2003).

Na profundidade 10-20 cm, o sistema ILP apresentou valor semelhante ao cerrado, demonstrando a eficiência deste sistema em adicionar carbono ao solo. Conceição et al. (2005) constataram que a fração MOP apresentou as maiores variações nos teores de carbono em função do manejo adotado, quando comparado ao COT, ambos os atributos verificados na profundidade de 0-5 cm. Esses resultados corroboram com os valores encontrados nesse estudo. Dessa forma, a sensibilidade apresentada pela fração particulada da MOS em função do uso do solo, demonstra que esse compartimento pode ser usado como um bom indicador da qualidade do solo para avaliação de sistemas de manejo.

Na profundidade 20-40 cm, o SPD e a ILP, apresentaram valores semelhantes aos do cerrado (Tabela 9). Isto demonstra confirmando a eficiência destes sistemas em armazenar carbono no solo, na forma de MOP. Dessa forma, a manutenção da palhada sobre o solo causa um aumento significativo no MOP. Este aumento foi em menor proporção quando comparado ao aumento no estoque de carbono total. Ao avaliarem os efeitos de longo prazo do plantio direto nas propriedades do solo, Bayer et al. (2006) observaram um aumento do MOP no sistema de plantio direto, em comparação ao sistema de cultivo convencional, mas não houve diferença no estoque de carbono total entre os tratamentos. A matéria orgânica particulada é a parte da matéria orgânica mais recentemente adicionado ao solo, com grau de decomposição menor, e tamanho maior que 53  $\mu\text{m}$  (Cambardella & Elliot, 1992). Esta fração também tem sido usada como

indicador para mudanças de manejo do solo e de resíduos, principalmente por meio da utilização de modelos de simulação da dinâmica da matéria orgânica do solo, pois corresponderia às frações lenta (Parton et al., 1987), decomponível (Van Veen & Paul, 1981) e estabilizada.

Para a MOM, observa-se na profundidade de 0-5 cm que o sistema de ILP apresentou valor superior quando comparados aos demais tratamentos, demonstrando a eficiência deste sistema no acúmulo de MOM, o que pode ser confirmado nas demais profundidades, onde o sistema ILP se comportou de maneira semelhante ao cerrado (Tabela 10). Este fato pode ser explicado pelo maior teor de argila encontrado neste sistema, classificado como muito argiloso, pois com altos teores de óxidos de ferro há proteção da matéria orgânica no interior dos microagregados altamente estável (Pinheiro-Dick & Schwertmann, 1996; Muggler et al., 1999).

**Tabela 10** – Matéria Orgânica Mineral ( $\text{g kg}^{-1}$ ) entre os sistemas de manejo e as profundidades avaliadas.

Sistemas	Profundidades (cm)			
	0-5	5-10	10-20	20-40
ILP	44,71 aA	32,08 abAB	30,89 abAB	21,08 abB
PASTAGEM	28,41 bAB	29,65 bA	23,08 abcAB	15,36 bB
SPD	23,62 bA	18,64 bcA	19,57 bcA	13,97 bA
CERRADO	24,94 bB	45,63 aA	37,25 aAB	32,55 aAB
CANA-DE-AÇÚCAR	18,57 bA	11,40 cA	13,23 cA	11,20 bA

ILP: Integração Lavoura Pecuária; SPD: Sistema de Plantio Direto. \* Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, são estatisticamente iguais entre si (Tukey, 5%). CV% = 30,57.

A MOM, na qual esta associada às frações silte e argila e apresenta avançado grau de humificação (Bayer et al., 2004), normalmente é menos sensível às alterações de manejo, principalmente em curto prazo. Além disto é a fração estável da MOS, composta principalmente por substâncias húmicas, exercendo papel significativo na estabilização dos microagregados (Cambardella & Elliott, 1992).

Na profundidade de 20 a 40 cm os sistemas ILP e pastagem apresentaram redução significativa nos valores MOM, fato não observado pelos sistemas cerrado, cana-de-açúcar e SPD (Tabela 10). Em estudos de armazenamento de carbono em frações lábeis da MOS em Latossolo Vermelho sob SPD onde analisaram um sistema sob plantio convencional e quatro sistemas de rotação em SPD, Bayer et al. (2004) verificaram que o estoque de carbono na MOM não foi afetado pelos diferentes sistemas de manejo nas diferentes camadas do solo. Os comportamentos dos resultados encontrados neste trabalho podem ter sido influenciados pelo manejo adotado na área analisada.

Segundo Nicoloso et al. (2008), mais de 80% do COT do solo é composto pela fração MOM. Contudo, foram encontrados nesse estudo valores variando de 18% na área com cana-de-açúcar a 46% na área de cerrado, comprovando mais uma vez, um grande aporte de resíduos observados nestes sistemas.

#### **4.7 Índice de Manejo de Carbono**

O IMC mede as alterações nos estoques de COT considerando os aspectos da labilidade do carbono orgânico do solo (Nicoloso et al., 2008). Valores de IMC inferiores a 100 são indicativos negativos das práticas de manejo sobre a matéria orgânica e a qualidade do solo (Blair et al., 1995; De Bona et al., 2006). Observa-se que na camada de 0-5 cm, todos os sistemas analisados apresentaram redução significativa no teor de CO, pois estes apresentam índices menores que o cerrado (Tabela 10). Entretanto, a partir da profundidade de 10 cm, os sistemas ILP e SPD apresentam um ganho de carbono no solo superior ao cerrado. Tais sistemas apresentaram efeito positivo no aumento do carbono no solo, com maiores valores de IMC quando comparados à área de referência (cerrado). A aplicação do IMC em sistemas de ILP no



cerrado brasileiro por Salton et al, (2008), identificou sistemas com inclusão de gramíneas na pastagem, alternadas com soja a cada dois anos em SPD, como os mais adequados para a manutenção dos estoques de C e promoção da qualidade do solo.

A área de cana-de-açúcar apresentou efeito negativo em todas as profundidades, quando comparadas à área de referência, portanto o sistema não está armazenando carbono orgânico suficiente para manter a sustentabilidade do sistema. Diekow et al. (2005) em estudo sob plantio direto com diferentes sistemas de culturas e adubação nitrogenada, utilizando como referência um campo nativo de área adjacente ao experimento com índice 100, definiu que sistemas de manejo do solo que apresentam maior aporte de resíduos vegetais sobre o solo apresentam maior IMC, enquanto manejos que deixam o solo descoberto e com baixo aporte de resíduos vegetais apresentam IMC inferiores a vegetação nativa.

**Tabela 11** – Índice de manejo de carbono (IMC) em função dos sistemas avaliados.

Sistemas	Profundidades (cm)			
	0-5	5-10	10-20	20-40
ILP	35	63	109	128
PASTAGEM	32	38	64	97
SPD	48	94	102	129
CERRADO	100	100	100	100
CANA-DE-AÇÚCAR	11	22	16	12

ILP: Integração Lavoura Pecuária; SPD: Sistema de Plantio Direto.

Observa-se que a cana apresentou em todos os resultados, valores inferiores em comparação aos demais sistemas, essa característica, pode ter sido observada, pelo fato da área de cana-de-açúcar apresentar um solo de textura arenosa (Tabela 1), enquanto os demais sistemas apresentam solo de textura argilosa e muito argilosa, esse tipo de solo apresenta baixa CTC (Tabela 2), isso confere em um menor acúmulo de matéria orgânica devido a menor quantidade de cargas no solo, e menor capacidade de estocar

MOS e apresenta uma menor proteção física da MOS, expondo-a à uma maior ação de microrganismos que mineralizam esta MOS.

## 5. CONCLUSÕES

Diante das condições ambientais encontradas durante a execução deste experimento conclui-se, que:

A integração lavoura-pecuária é um sistema que conferiu sustentabilidade das frações da matéria orgânica do solo em condições de cerrado.

Os maiores valores de produção de massa seca na superfície do solo foram observados nos sistema de plantio direto e a integração lavoura pecuária.

Os valores de matéria orgânica particulada da cana-de-açúcar, do sistema de plantio direto e a integração lavoura pecuária, do cerrado e da pastagem diferiram estatisticamente para todas as profundidades.

As áreas estudadas apresentaram uma predominância de estoque de MOM em detrimento das demais frações.

Quanto às frações químicas da matéria orgânica, verificou-se que houve um predomínio do C da fração humina, seguido pelo de ácidos fúlvicos e ácidos húmicos em todos os sistemas avaliados.

Quanto a sustentabilidade dos sistemas analisados, a cana-de-açúcar com queima foi o sistema que apresentou maior redução de todas as frações da matéria orgânica do solo.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLARD, V.; SOUSSANA, J.F.; FALCIMAGNE, R.; BERBIGIER, P.; BONNEFOND, J.M.; CESCHIA, E.; D'HOOR, P.; HÉNAULT, C.; LAVILLE, P.; MARTIN, C.; PINARÈS-PATINO, C. The role of grazing management for the net biome productivity and greenhouse gas budget (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub>) of semi-natural grasslands. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. Oxford, v.121, n.1-2, p.47-58, 2007.

ARAÚJO, A. E.; LANI, J. L.; AMARAL, E. A. & GUERRA, A. Uso da terra e propriedades físicas e químicas de Argissolo Amarelo Distrófico na Amazônia ocidental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.2, p.307-315, 2004.

BALBINO, L. C.; BRUAND, A.; BROSSARD, M.; GRIMALDI, M.; HAJNOS, M.; GUIMARÃES, M. F. Changes in porosity and microaggregation in clayey Ferralsols of the Brazilian Cerrado. **European Journal of Soil Science**, Inglaterra, v.53, n.2, p. 219-230, 2002.

BALBINO, L. C.; BROSSARD, M.; STONE, L. F.; BRUAND, A.; LEPRUN, J. C. Estrutura e propriedades hidráulicas em latossolos sob cultivo na região do Cerrado. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, Santo Antônio de Goiás, v. 8, p. 7-43, 2003.

BARROS, E.; GRIMALDI, M.; SARRAZIN, M.; CHAUVEL, A.; MITJA, D.; DESJARDINS, T.; LAVELLE, P. Soil physical degradation and changes in macrofaunal communities in Central Amazon. **Applied Soil Ecology**, Holanda, v. 26, n.2, p. 157-168, 2004.

BAYER, C.; BERTOL, I. Características químicas de um Cambissolo húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase na matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.3, p.687-694, 1999.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da material orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.39, n.7, p.677-683, 2004.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; GIASSON, E. Tillage effects on particulate and mineral- associated organic matter in two tropical Brazilian soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 37, n.3-4, p. 389-400, 2006.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Fundamentos da matéria orgânica do solo. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. **Ecosistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed, Porto Alegre, Metrópole, 2008. p. 7-18.

BENITES, V.M.; MADARI, B.; MACHADO, P.L.O.A. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: Um procedimento simplificado de baixo custo**. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2003. 7p. (Comunicado Técnico)

BLAIR, G.J.; LEFROY, R.D.B.; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a Carbon Management Index, for agricultural systems. **Australian Journal Agricultural Research**, Collingwood, v. 46, n.7, p.1459-1466, 1995.

BLAKE, G.R., HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A, (ed). **Methods of soil analysis**. Physical and mineralogical methods. Madison : ASA, 1986. p.363-375.

BROSSARD, M.; BARCELLOS, A. de O. Conversão do cerrado em pastagens cultivadas e funcionamento de latossolos. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v.22, n.1, p.153-168, 2005.

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

CAMPOS, D. V. B.; MACHADO, P. L. O. A.; TAVARES, S. L.; BERNARDI, A. C. C. Carbon and nitrogen stocks of an Arenosol under irrigated fruit orchards in semiarid Brazil. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 64, n.2, p. 169-175, 2007.

CANÇADO, J.E.D.; SALDIVA, P.H.N.; PEREIRA, L.A.A.; LARA, L.B.L.S.; ARTAXO, P.; MARTINELLI, L.A.; ARBEX, M.A.; ZANOBETTI, A.; BRAGA, A.L.F. The impact of sugar cane-burning emissions on the respiratory system of

children and the elderly. **Environmental Health Perspectives**, Research Triangle Park, v.114, n.5, p.725-729, 2006.

CANELLAS, L.P.; SANTOS, G.A.; RUMJANEK, V.M.; MORAES, A.A. & GURIDI, F. Distribuição da matéria orgânica e características de ácidos húmicos em solos com adição de resíduos de origem urbana. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.12, p.1529-1538, 2001.

CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P.; RUMJANEK, V. M.; REZENDE, C. E.; SANTOS, G. A. Propriedades químicas de um cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhicho e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.5, p.935-944, 2003.

CECCON, G.; MATOSO, A. O.; PEDROSO, F. F.; FIGUEIREDO, P. G. Consórcio de milho safrinha com braquiária em Lavouras de Agricultores. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 109, p. 38-43, 2009.

CHRISTENSEN, B. T. **Organic matter in soil: structure, function and turnover**. Tjele: DIAS,. (DIAS Report. Plant Production, 30). 95 p, 2000.

CHRISTENSEN, B. T. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 52, n.3, p. 45-353, 2001.

COBUCCI, T. Manejo integrado de plantas daninhas em sistema de plantio direto. In: Zambolim, L. **Manejo Integrado Fitossanidade: cultivo protegido, pivô central e plantio direto**. Viçosa: UFV, 2001. p. 583-624.

CONAB. **Avaliação da safra agrícola de cana-de-açúcar 2009/2010: Terceiro levantamento – Dezembro 2009**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2009. 12 p.

CONANT, R.T.; PAUSTIAN, K.; ELLIOTT, E.T. Grassland management and conversion into grassland: effects on soil carbon. **Ecological Applications**, Washington, v. 11, n. 2, p. 343–355, 2001.

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

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; GUILHERME, L. R. G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n.2, p. 179-186, 2004.

DAVIDSON, E.A.; ACKERMAN, I.L. Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 20, n.1, p. 181–193, 1993.

DE BONA, F. D; BAYER, C.; BERGAMASCHI, H.; DIEKOW, J. Carbono Orgânico no Solo em Sistemas Irrigados por Aspersão sob Plantio Direto e Preparo Convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 911-920, 2006.

DENEFF, K.; ZOTARELLI, L.; BODDEY, R.M.; SIX, J. Microaggregate-associated carbon as a diagnostic fraction for management-induced changes in soil organic carbon in two Oxisols. **Soil Biology & Biochemistry**. v.39, n.5, p.1165-1172, 2007.

DIEKOW, J. MIELNICZUK, J. ; KNICKER, H. ; BAYER, C. ; DICK, D. P. ; KÖGEL-KNABNER. Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influenced by long-term no-till cropping systems and N fertilisation. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.268, n.1-2, p.319-328, 2005.

DOMINY, C.S.; HAYNES, R.J.; VAN ANTWERPEN, R. Loss of soil organic matter and related soil properties under long-term sugarcane production on two contrasting soils. **Biology and Fertility of Soils**, Heidelberg, v. 36, n.5, p. 350-356, 2002.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 212 p, 1997. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1).

ENTZ, M.H.; BARON, V.S.; CARR, P.M.; MEYER, D.W.; SMITH JUNIOR, S.R.; MCCAUGHEY, W. P. Potential of forages to diversify cropping systems in the Northern Great Plains. **Agronomy Journal**, Madison, v.94, n.1, p.204-213, 2002.

FERNANDES, F.A.; CERRI, C.C.; FERNANDES, A.H.B.M. Alterações na matéria orgânica de um podzol hidromórfico pelo uso com pastagens cultivadas no pantanal mato-grossense. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.34, n.10, p. 1943-1951, 1999.

FONTANA, A.; PEREIRA, M.G.; NASCIMENTO, G.B.; ANJOS, L.H.C. & EBELING, A.G. Matéria orgânica em solos de tabuleiros na região norte Fluminense-RJ. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v.8, n.1, p.114-119, 2001.

FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; CUNHA, T. J. F.; SALTON, J. C. Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.5, p.847-853. 2006.

FRAZÃO, L. A.; PÍCCOLO, M. DE C.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Propriedades químicas de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado mato-grossense. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.43, n.5, p. 641-648, 2008.

FREITAS, P. L.; BLANCANEUX, P. H.; GAVINELLI, E.; LARRÉ-LARROUY, M. C.; 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.A.; GUIMARÃES, C.M.; SILVA, C.A.; FADIGAS, F.S. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.26, p.425-434, 2002.

GRAHAM, M.H.; HAYNES, R.J.; ZELLES, L.E.; MEYER, J.H. Long-term effects of green cane harvesting versus burning on the size and diversity of the soil microbial community. **Proceedings of the South African Sugar Technologists' Association**, Mount Edgecombe, v.75, n.1, p.228-234, 2002.

KLINK, C.A.; MOREIRA, A.G. Past and current human occupation and land use. In: OLIVEIRA, P.S.; MARQUIS, R.J. (Ed.). **The Cerrado of Brazil**. New York: Columbia University Press, 2002. p. 69-88.



LEIFELD, J.; KÖGEL-KNABNER, I. Soil organic matter fractions as early indicators for carbon stock changes under different land-use. **Geoderma**, Amsterdam, v. 124, n. 1-2, p. 143-155, 2005.

LEITE, L.F.C.; MENDONÇA, E.S.; NEVES, J.C.L.; MACHADO, P.L.O. & GALVÃO, J.C.C. Estoque de carbono orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.5, p.821-832, 2003.

LONGO R.M.; SPÍNDOLA, C.R. C-orgânico, N-total e substâncias húmicas sob influência da introdução de pastagens (*Brachiaria sp.*) em áreas de cerrado e floresta amazônica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.4, p.723-729, 2000.

LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L.H.C. dos; SILVA, E.M.R. da. Carbono e frações granulométricas da matéria orgânica do solo sob sistemas de produção orgânica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.4, p.1077-1082, 2009.

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.1, p.175-187, 2004.

MACHADO, P.L.O.A., SOHI, S.P., GAUNT, J.L. Effect of no-tillage on turnover of organic matter in a Rhodic Ferralsol. **Soil User and Management**. United Kingdom, v.19, n.3, p.250-256, 2003.

MARCHIORI JÚNIOR, M.; MELO, W.J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.6, p.1177-1182, 2000.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.; FERNANDES, F. F.; DEBARBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com estoques de carbono e nitrogênio do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 3, n.3, p. 209-248, 2003.

MUGGLER, C.C.; GRIETHUYSEN, C. van; BUURMAN, P.; PAPE, T. Aggregation, organic matter, and iron oxide morphology in oxisols from Minas Gerais. **Brazilian Soil Science**, Viçosa, v.164, n.10, p.759-770, 1999

NICOLOSO, R.S.; LOVATO, T.; AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; LANZANOVA, M.E. Balanço do carbono orgânico no solo sob integração lavoura-pecuária no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.2425-2433, 2008.

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

PEREIRA, R. G.; MEDEIROS, V. Q. de; CAVALCANTE, M.; CRUZ, S. C. S.; BARROS, E. S. Avaliação de espécies forrageiras como plantas de cobertura sobre os componentes de produção do milho cultivado no sistema plantio direto. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n.3, p. 1-4, 2009.

PINHEIRO, E.F.M.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C. Aggregate distribution and soil organic matter under different tillage systems for vegetable crops in a Red Latosol from Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.30, n.1, p.1-6, 2004a.

PINHEIRO, E.F.M.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L. H. C.; MACHADO, P. L. O. A. Fracionamento densimétrico da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo e cobertura vegetal em Paty do Alferes (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.4, p.731-737, 2004b.

PINHEIRO-DICK, D.; SCHWERTMANN, U. Microaggregates from Oxisols and Inceptisols: dispersion through selective dissolutions and physico-chemical treatments. **Geoderma**, Amsterdam, v.74, n.1-2, p.49-63, 1996.

RAO, S.C.; PHILLIPS, W.A.; MAYEUX, H.S.; PHATAK, S.C. Potential grain and forage production of early maturing pigeonpea in the Southern Great Plains. **Crop Science**, Madison, v.43, n.6, p.2212-2217, 2003.

RAZAFIMBELO, T.; BARTHES, B.; LARRE-LARROUY, M.C.; DE LUCA, E.F.; LAURENT, J.Y.; CERRI, C.C.; FELLER, C. Effect of sugarcane residue management (mulching versus burning) on organic matter in a clayey Oxisol from southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 115, n.1, p. 285-289, 2006.

REINERT D. J.; REICHERT. J. Propriedades físicas de solos em sistema plantio direto Irrigado. In : CARLESSO, R.; PETRY, M.; ROSA, G. & CERETTA, C. A. **Irrigação por Aspersão no Rio Grande do Sul**, Santa Maria, 2001, p. 114-131.

RHEINHEIMER, D.S.; KAMINSKI, J.; LUPATINI, G.C. & SANTOS, E.J.S. Modificações em atributos químicos de solo arenoso sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.713-721, 1998.

ROBERTSON, F.A.; THORBURN, P.J. Management of sugarcane harvest residues: consequences for soil carbon and nitrogen. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 45, n. 1, p. 13-23, 2007.

ROSALES, M.A.; OLIVEIRA, O.S.; MOURA, M.A.; LOURES, E.G. Influência das adubações orgânica e mineral contínuas sobre as características das frações das substâncias húmicas do solo. **Revista Ceres**, Viçosa, v.46, n.263, p.67-81, 1999.

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

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEICAO, P. C.; FABRÍCIO, A. C.; 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.

SANCHEZ, P. Properties and management of soils in the tropics. New York: John Wiley, **Soil organic matter**, 1976. 618 p.

SANO, E.E.; BARCELLOS, A.O.; BEZERRA, H.S. Assessing the spatial distribution of cultivated pastures in the Brazilian savanna. **Pasturas Tropicales**, Cali, v. 22, n. 3, p. 2-15, 2000.

SARTORI, M. M. P.; LEÃO, A. L. Caracterização da biomassa residual de colheita de cana-de-açúcar e seu potencial energético, em diferentes variedades e cortes. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 17, n.1, p. 81-89, 2002.

SEGANFREDO, M.L.; ELTZ, F.L.F.; BRUM, A.C.R. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em sistemas de culturas em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, n.2, p.287-291, 1997.

SEVERINO, F.J.; CARVALHO, S.J.P.; CHRISTOFOLETI, P.J. Interferências mútuas entre a cultura do milho, espécies forrageiras e plantas daninhas em um sistema de consórcio. I- Implicações sobre a cultura do milho (*Zea mays*). **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 589-596, 2005.

SILVA, V.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.5, p.795-801, 2000.

SILVA, F. DE A. S. E.; AZEVEDO, C. A. V. DE. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.4, n.1, p71-78, 2002.

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; CORAZZA, E. J.; VIVALDI, L. Carbon storage in clayey Oxisol cultivated pastures in the Cerrado region, Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.103, n.2, p.357-363, 2004.

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 Brasil. **Soil and Tillage Research**, Netherlands, v.94, n. 2, p. 420-424, 2007.

SILVA, G. J.; DIAS V. J. D.; BIANCHINI, A.; AZEVEDO, E. C. DE; SOUZA M. J. C. DE. Variação de atributos físico-hídricos em latossolo vermelho-amarelo do Cerrado mato-grossense sob diferentes formas de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.32, n.5, p. 2135-2143. 2008.

SINGER, M.J.; EWING, S. Soil quality. In: SUMNER, M.E. **Handbook of soil science**. Boca Raton: CRC, 2000. p.271- 298.

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

SOARES, J.L.N.; ESPÍNDOLA, R.C.; CASTRO, S.S. Alteração física e morfológica em solos cultivados sob sistema tradicional de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.6, p.1005-1014, 2005.

SOHI, S.; MAHIEU, N.; ARAH, J.R.M.; POWLSON, D.S.P.; MADARI, B.; GAUNT, J.L. 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.

SOUZA, W.J.O.; MELO, W.J. Matéria orgânica de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de produção de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n.6, p. 1113-1122, 2003.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C.; Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho Distrófico de Cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 1, p.133-139, 2003.

SOUZA, Z. M. de; PRADO, R. de M.; PAIXAO, A. C. S. and CESARIN, L. G. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. **Pesquisa agropecuária brasileira**. Brasília, v.40, n.3, p. 271-278. 2005.

SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M.A.C.; PAULINO, H.B.; SILVA, C.A.; BUZETTI, S. Alterações nas frações carbono em um neossolo quartzarênico submetido a diferentes sistemas de uso do solo. **Acta Science Agronomy**, Maringá, v. 28, n.3, p. 305-311, 2006.

STEVENSON, F.J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. New York: John Wiley. 1994, 496 p.

STRECK, C.A.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.K. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.3, p. 755-760, 2004.

SUMAN, A.; SINGH, K.P.; SINGH, P.; YADAV, R.L. Carbon input, loss and storage in subtropical Indian Inceptisols under multi-ratooning sugarcane. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 105, n. 2, p. 177-328, 2009.

SWIFT, R.S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D.L. et al. **Methods of soil analysis**. Madison: SSSA, 1996. Cap.3, p.1011-1069.( Book Series n.5).

TOMINAGA, T.T.; CÁSSARO, F.A.M.; BACCHI, O.O.S.; REICHARDT, K.; OLIVEIRA, J.C.M.; TIMM, L.C. Variability of soil water content and bulk density in a sugarcane field. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v.40, n.4, p.605-614, 2002.

TORMENA, C.A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J.C.; COSTA, A.C.S.; FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.6, p.1023-1031, 2004.

VAN VEEN, P.; PAUL, E.A. Organic carbon dynamics in grassland soils. 1. Background information and computer simulation. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 61, n.2, p. 185- 201, 1981

VIEIRA JUNIOR, P.A.; VIEIRA, A.C.P.; BUAINAIN, A.M.; LIMA, F.de; SILVEIRA, J.M.F.J.da. Produção brasileira de cana-de-açúcar e deslocamento da fronteira agrícola no estado do Mato Grosso. **Informações Econômicas**, São Paulo, v.38, n.4, p.58-77. 2008.

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