

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS**

**ATRIBUTOS FÍSICOS E FRACIONAMENTO  
GRANULOMÉTRICO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO  
SOLO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-  
PECUÁRIA**

CAROLINA TIRLONI

DOURADOS  
MATO GROSSO DO SUL  
2010

**ATRIBUTOS FÍSICOS E FRACIONAMENTO  
GRANULOMÉTRICO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO  
SOLO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-  
PECUÁRIA**

CAROLINA TIRLONI  
Engenheira Agrônoma, M.S.

Orientador: Prof. Dr. ANTONIO CARLOS TADEU VITORINO

Tese apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências do programa de Pós-graduação em Agronomia – Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutora.

Dourados  
Mato Grosso do Sul  
2010

Atributos físicos e fracionamento granulométrico da matéria orgânica do solo em sistema de integração lavoura-pecuária

por

Carolina Tirloni

Tese apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de DOUTORA EM AGRONOMIA

Aprovado em 26/02/2010

Prof. Dr. Antonio Carlos Tadeu Vitorino  
Orientador  
UFGD/FCA

Prof. Dr. Omar Daniel  
UFGD/FCA

Prof. Dr. Luiz Carlos Ferreira de Souza  
UFGD/FCA

Dra. Josiléia Acorde Zanatta  
Embrapa Agropecuária Oeste

Prof. Dr. Raphael Maia Aveiro Cessa  
UNIGRAN

## **DEDICATÓRIA**

Dedico esta Tese a meus pais

Olair Tirloni

Marisa Elizabeth Schwartz Tirloni

e meu esposo

Paulo Jacinto Batezini de Souza

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por estar sempre presente em minha vida, iluminando meus caminhos.

Aos meus pais, Olair e Marisa, responsáveis pela minha educação e caráter, que sempre me incentivaram a continuar com os estudos, que sempre foram motivo de muito orgulho em minha vida , em quem sempre me espelhei;

Ao meu esposo Paulo, pelo amor, companheirismo e dedicação em todos os momentos;

Aos meus irmãos Priscila e Diogo, que me deram apoio, incentivo e amizade sempre;

À Universidade Federal da Grande Dourados, pela oportunidade da realização do curso e condução deste trabalho;

Ao meu orientador Prof. Dr. Antonio Carlos Tadeu Vitorino, que além de todo trabalho de orientação nesses longos anos de pós-graduação tornou-se um grande amigo e sempre esteve disposto a me ajudar em todas etapas difíceis da vida profissional e pessoal;

Aos professores Dr. Omar Daniel, Dr. José Oscar Novelino e Dr. Luiz Carlos Ferreira de Souza, que como co-orientadores foram fundamentais no planejamento, condução e discussão do trabalho;

Ao Sr. Ake Bernard van der Vinne, que com sua grande experiência como produtor rural e seu espírito cientista desenvolveu um eficiente sistema de integração

em sua propriedade e possibilitou a coleta de dados para condução da minha tese de doutorado.

Aos professores das disciplinas que cursei e que transmitiram conhecimentos valiosos para o meu aperfeiçoamento;

Aos funcionários da UFGD, em especial a Nilda, tia Eva, Sr. Jesus, Niltinho, que me auxiliaram nos trabalhos de campo ou laboratório;

Aos alunos de iniciação científica, Carla Eloize Carducci, Debora Menani Heid, Marcos Vinícios Garbiati que me auxiliaram nos trabalhos;

Aos colegas do curso de Doutorado, em especial, a Hellen, Rosimeire, Anderson, Denis e Elaine que estiveram presentes dividindo os estudos e trabalhos neste período;

À CAPES, pelo apoio financeiro durante o curso;

A todos que direta ou indiretamente contribuíram na minha formação e na condução deste trabalho.

Muito obrigada!

## SUMÁRIO

	PÁGINA
LISTA DE TABELAS.....	vii
LISTA DE QUADROS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	x
RESUMO.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUÇÃO.....	3
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
MATERIAL E MÉTODOS.....	14
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	19
CONCLUSÕES.....	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43

## LISTA DE TABELAS

PÁGINA

TABELA 1. Sequência de culturas nos sistema de sucessão entre os anos de 2003 e 2008, nos cultivos de primavera-verão (P/V) e outono-inverno (O/I) no ano agrícola 2007/08.....	15
---	----



## LISTA DE QUADROS

PÁGINA

QUADRO 1. Resumo da análise de variância para densidade do solo (Ds), macroporosidade (MACRO) e porosidade total (Pt) em função diferentes sistemas e profundidades.....	19
QUADRO 2. Valores de densidade do solo ( $\text{Mg m}^{-3}$ ) nos diferentes sistemas e profundidades estudadas.....	20
QUADRO 3. Valores de macroporosidade (%) em diferentes sistemas e profundidades.....	22
QUADRO 4. Resumo da análise de variância para microporosidade (MICRO) em função de diferentes sistemas e profundidades.....	23
QUADRO 5. Valores médios de quantidade de microporos (%) em diferentes profundidades.....	24
QUADRO 6. Valores médios de porosidade total (Pt%) em diferentes sistemas e profundidades.....	25
QUADRO 7. Resumo da análise de variância para diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP), agregados maiores que 1 mm ( $>1\text{mm}$ ) e agregados menores que 1 mm ( $<1\text{mm}$ ) em função de diferentes sistemas e profundidades.....	26
QUADRO 8. Valores médios de diâmetro médio geométrico (%) de agregados em diferentes sistemas e profundidades.....	27
QUADRO 9. Valores médios de diâmetro médio ponderado (%) de agregados em diferentes sistemas e profundidades.....	27
QUADRO 10. Valores médios de agregados maiores que 1mm em diferentes sistemas e profundidades.....	28
QUADRO 11. Valores médios de agregados menores que 1mm em diferentes sistemas e profundidades.....	29
QUADRO 12. Resumo da análise de variância para matéria orgânica particulada (MOP), matéria orgânica associada aos minerais (MOaM) e carbono total (CT) em função de diferentes sistemas e profundidades.....	30
QUADRO 13. Valores médios de matéria orgânica particulada ( $\text{g kg}^{-1}$ ) em diferentes sistemas e profundidades.....	31

QUADRO 14. Valores médios de matéria orgânica associada à fração mineral ( $\text{g kg}^{-1}$ ) em diferentes sistemas de sucessão.....	32
QUADRO 15. Valores médios de matéria orgânica associada à fração mineral ( $\text{g kg}^{-1}$ ) em diferentes profundidades.....	33
QUADRO 16. Valores médios de carbono orgânico total ( $\text{g kg}^{-1}$ ) em diferentes sistemas.....	34
QUADRO 17. Valores médios de carbono orgânico total em diferentes profundidades.....	34
QUADRO 18. Resumo da análise de variância para índice de estabilidade de carbono (IEC), labilidade (LAB) índice de labilidade (IL) em função de diferentes sistemas e profundidades.....	34
QUADRO 19. Índice de estoque de carbono (IEC) em diferentes sistemas e profundidades.....	35
QUADRO 20. Valores médios de labilidade em diferentes sistemas de sucessão.....	36
QUADRO 21. Valores médios de labilidade em quatro profundidades.....	37
QUADRO 22. Valores médios de índice de labilidade em quatro profundidades.....	37
QUADRO 23. Resumo da análise de variância para índice de manejo de carbono (IMC) e carbono acumulado (CACUM) em função de diferentes sistemas e profundidades.....	37
QUADRO 24. Valores médios de índice de manejo de carbono em quatro profundidades.....	38
QUADRO 25. Valores médios de carbono acumulado em diferentes sistemas e profundidades.....	39
QUADRO 26. Tabela de correlação entre os atributos físicos e o fracionamento de matéria orgânica do solo.....	40

## LISTA DE FIGURAS

PÁGINA

FIGURA 1. Sistema de rotação/sucessão das culturas de verão avaliadas na Fazenda Cabeceira, Maracajú – MS.....	17
--	----

# **ATRIBUTOS FÍSICOS E FRACIONAMENTO GRANULOMÉTRICO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA**

CAROLINA TIRLONI

Orientador: Antonio Carlos Tadeu Vitorino

## **RESUMO**

A manutenção de sistemas agrícolas produtivos representa grande desafio para a humanidade. Nesse contexto, a conservação do solo e da água ganha especial destaque, por representarem importantes recursos da produção agrícola. A integração lavoura-pecuária é uma alternativa interessante de manejo dos solos, principalmente em regiões com ocorrência de clima que impõe dificuldades na formação de massa seca para cobertura do solo no SPD. O objetivo do presente trabalho foi avaliar atributos físicos e químicos de um solo, partindo da hipótese que a integração lavoura-pecuária, quando bem manejada, melhora a qualidade do solo e proporciona uma maior estabilidade no sistema. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com cinco repetições. Os tratamentos foram arranjos em um fatorial 6 x 4, sendo 6 sistemas de sequência de culturas (S1, S2, S3, S4 S5 e mata (M)), e 4 profundidades (0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm). Numa área onde a integração lavoura pecuária foi estabelecida em 2003. O sistema de integração lavoura pecuária promove alteração nos atributos físicos do solo, sendo que os efeitos dos diferentes sistemas se manifestam principalmente na camada mais superficial do solo. O manejo adotado, que considera a integração lavoura pecuária, com as rotações descritas, permite manter teores de carbono no solo iguais aos encontrados no ambiente de mata original. Os teores de carbono acumulado comprovam ainda, que os manejos adotados são tão eficientes quanto o ambiente de referência (M), sendo um importante indicativo da sustentabilidade do sistema do ponto de vista de conservação do solo.

**Palavras Chave:** sucessão de culturas, matéria orgânica particulada, física do solo

# SOIL PHYSICAL ATTRIBUTES AND GRANULOMETRY FRACTIONS OF SOIL ORGANIC MATTER IN LIVESTOCK-CROP INTEGRATION

CAROLINA TIRLONI

Adviser: Antonio Carlos Tadeu Vitorino

## ABSTRACT

The maintenance of productive agricultural systems is a great challenge for humanity. In that context, the soil and water preservation earns a special highlight, because it represents an important resource in agriculture production. The crop-livestock integration represents an interesting alternative soil management especially in regions with difficulties in maintaining cover crops in no-tillage system. The objective of this research was to evaluate soil physical and chemical attributes, assuming that the livestock-crop integration, when well managed, improves soil quality and provides greater stability in the system. The experimental design was completely randomized, with five repetitions. The treatments consisted of a 6 x 4 factorial, being 6 systems of crop rotation (S1, S2, S3, S4, S5 and forest) and 4 depths (0-5, 5-10, 10-15 and 15-20 cm). Livestock-crop integration was established in the area in 2003. The livestock-crop integration system changes soil physical attributes, and the effects of different systems are mainly expressed in the superficial layer of soil. The chosen management, that considers livestock-crop integration, with the descript rotations, allows us to keep soil carbon levels equal to those found in the native forest environment. The accumulated soil carbon levels still prove that the chosen management adopted are as efficient as the reported environment (M), being an important indicator of sustainability of the system in relation to soil conservation

**Key Words:** succession of crops, fractions organic matter, soil physics

## INTRODUÇÃO

A manutenção de sistemas agrícolas produtivos, garantindo o suprimento de alimentos, fibras e energia para a sociedade, sem prejudicar a capacidade de sustentação e sobrevivência de gerações futuras, representa grande desafio para a humanidade. Nesse contexto, a conservação do solo e da água ganha especial destaque, por representarem importantes recursos da produção agrícola.

O sistema plantio direto quando adequadamente adotado, inclui a rotação de culturas e tem como um dos pilares de sua fundamentação teórica e científica a preservação da matéria orgânica do solo (MOS), baseado em práticas que visam a redução das taxas de mineralização e favorecem a maior entrada de resíduos no sistema. A matéria orgânica do solo desempenha funções fundamentais para o adequado funcionamento do solo, estando envolvida em processos físicos, químicos e biológicos.

Roscoe *et al.*, (2006) ressaltam a importância da MOS, a qual desempenha funções fundamentais para adequado funcionamento do sistema solo-planta-microorganismos e da organização destes em um elevado nível de ordem.

O uso de culturas de cobertura planejadas em um sistema de rotação/sucessão, exemplo: pastagem/soja, pode auxiliar na manutenção e aumento dos estoques de carbono do solo, principalmente pela alta produção de resíduos vegetais, ação diferenciada do sistema radicular, quantidade de resíduos deixados na superfície do solo, velocidade de decomposição desses resíduos ou fixação de nitrogênio atmosférico, que pode, por esses mecanismos, incrementar a produção de massa das culturas de inverno e assim aumentar também a entrada de carbono no sistema.

A integração lavoura-pecuária é uma alternativa de produção que, se bem manejada, pode melhorar a qualidade do solo. Vezzani (2001) cita que ao incluir ciclos de cultivos de forrageiras no esquema de rotação, aumenta-se a quantidade de resíduos aportados ao sistema plantio direto (SPD) e, em consequência aumenta-se a quantidade de matéria orgânica adicionada ao solo.

A integração lavoura-pecuária representa uma alternativa interessante de manejo dos solos principalmente nas regiões com ocorrência de clima que impõem dificuldades na formação de massa seca para cobertura do solo no SPD.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar atributos físicos e fracionamento físico da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho Distroférico, partindo da hipótese que a integração lavoura-pecuária, quando bem manejada, melhora a qualidade do solo e proporciona uma maior estabilidade no sistema quanto à produção de grãos.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A discussão sobre qualidade do solo (QS) intensificou-se no início dos anos 1990, quando a comunidade científica, consciente da importância do solo para a qualidade ambiental, começou a abordar, nas publicações, a preocupação com a degradação dos recursos naturais, a sustentabilidade agrícola e a função do solo nesse contexto (Vezzani & Mielniczuk, 2009). Lal & Pierce (1991) foram precursores em alertar sobre a relação do manejo do solo e a sustentabilidade da agricultura. Os números alarmantes de áreas degradadas física e quimicamente, contaminadas por agroquímicos, e as perspectivas catastróficas fizeram Lal & Pierce (1991) instigar a comunidade científica a buscar sistemas de manejo inovadores, capazes de balancear o requerimento do solo e das culturas. “A ênfase não está em maximizar a produção, mas sim em otimizar o uso do recurso e sustentar produtividade por um longo período”, alertaram eles.

Dando continuidade a essa reflexão, Doran & Parkin (1994) propuseram o seguinte conceito à QS, que mais tarde foi reformulado por Doran (1997), sendo ainda utilizado nos dias atuais: “Qualidade do solo é a capacidade de um solo funcionar dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, para sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou aumentar a qualidade do ar e da água e promover a saúde das plantas, dos animais e dos homens”. Em outras palavras, é a capacidade de o solo exercer suas funções na natureza, que são: funcionar como meio para o crescimento das plantas; regular e compartimentalizar o fluxo de água no ambiente; estocar e promover a ciclagem de elementos na biosfera; e servir como tampão ambiental na formação,



atenuação e degradação de compostos prejudiciais ao ambiente (Larson & Pierce, 1994; Karlen *et al.*, 1997). Portanto, QS está relacionada com as funções que capacitam o solo a aceitar, estocar e reciclar água, nutrientes e energia (Carter, 2001). Nesse contexto, QS é a integração das propriedades biológicas, físicas e químicas do solo, que o habilita a exercer suas funções na plenitude.

Carneiro *et al.* (2009) relatam que à medida que o conhecimento do sistema plantio direto se amplia, verifica-se que o uso de indicadores químicos isolados não permite caracterização dos solos, sendo necessário utilizar um conjunto de indicadores de qualidade do solo com a entrada de outros atributos, entre eles os físicos e biológicos.

Na busca pelos melhores indicadores de qualidade do solo Doran & Parkin (1994) propuseram um conjunto básico de indicadores de ordem biológica, física e química: textura, profundidade de solo e de raízes, densidade do solo, infiltração de água no solo, capacidade de armazenamento e retenção de água, conteúdo de água no solo, temperatura do solo, teores de C e N orgânico total, pH, condutividade elétrica, teores de N mineral ( $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ ), P, K, C e N da biomassa microbiana, N potencialmente mineralizável, respiração do solo, C na biomassa em relação ao C orgânico total e respiração microbiana em relação à biomassa. A proposta é de que esses indicadores sejam relacionados com cinco funções do solo: habilidade de regular e compartimentalizar o fluxo de água; habilidade de regular e compartimentalizar o fluxo de elementos químicos; promover e sustentar o desenvolvimento de raízes; manter um habitat biológico adequado; e responder ao manejo, resistindo à degradação.

Alguns pesquisadores consideram a matéria orgânica do solo (MOS) como o indicador ideal para avaliar a qualidade do solo (Karlen *et al.*, 1992; Carter & Stewart, 1996; Lal, 1997; Reeves, 1997; Herrick & Wander, 1998; Monreal *et al.*, 1998; Seybold *et al.*, 1998; Pulleman *et al.*, 2000; Carter, 2001; Franzluebbers, 2002; Shukla *et al.*, 2006; Salton *et al.*, 2008; Spera *et al.*, 2009). Os mesmos estão fundamentados na importância da matéria orgânica do solo (MOS) para os diversos processos físicos, químicos e biológicos, que é amplamente reconhecida na literatura. A MOS desempenha diversas funções no ambiente, estando ligada a processos fundamentais como a ciclagem e retenção de nutrientes, agregação do solo e dinâmica da água, além de ser fonte básica de energia para a atividade biológica. Sua perda pode interferir drasticamente nesses processos, dificultando o desempenho das funções do solo,

provocando desequilíbrios no sistema e, conseqüentemente, desencadeando o processo de degradação (Roscoe, 2006).

As mobilizações de solo com o intuito de condicioná-lo ao estabelecimento de culturas, para integração lavoura-pecuária, desencadeiam reações integradas e em série nos processos biológicos, químicos e físicos, que promovem alterações na estrutura da camada arável, tais como aumento na resistência à penetração e na densidade do solo, redução na macroporosidade, diminuição na taxa de infiltração e alterações morfológicas em raízes de plantas (Spera *et al.*, 2009).

O cultivo intensivo pode reduzir o conteúdo de matéria orgânica do solo, enquanto que práticas conservacionistas, como o plantio direto, que revolvem menos o solo e recebem um maior aporte de resíduos, geralmente têm-se mostrado eficientes em aumentar os estoques de carbono no solo (Wendling *et al.*, 2005). A ausência de revolvimento e contínuo aporte de material vegetal, pode atuar como dreno de carbono atmosférico na medida em que aumenta os estoques de carbono do solo, enquanto sistemas com intenso preparo do solo podem atuar como fonte de carbono para a atmosfera (Bayer *et al.*, 2004). No trabalho de Jantalia *et al.* (2003), o preparo do solo reduziu os estoques de carbono e de nitrogênio do solo, quando comparado ao sistema plantio direto.

Como a matéria orgânica do solo encontra-se em situações muito variáveis quanto ao grau de decomposição, composição química, tamanho, proteção química e física, são utilizados métodos de fracionamento químico ou físico, para classificar e quantificar sua presença no solo e os efeitos dos sistemas de manejo (Salton *et al.*, 2005). A habilidade em quantificar as suas frações é importante para a o entendimento da dinâmica desta matéria orgânica (Cambardella & Elliott, 1992).

Quando há a substituição de ecossistemas naturais por sistemas agrícolas ocorre uma simplificação ecológica, que pode levar a uma redução no conteúdo de carbono do solo (Rosa *et al.*, 2003), que tem grande contribuição na capacidade de troca de cátions do solo e no aumento da sua porosidade (Canellas *et al.*, 2000) sendo que a porosidade do solo influencia diretamente a resistência à penetração das raízes e a retenção de água (Araújo *et al.*, 2004).

Práticas de manejo provocam alterações nas propriedades do solo, principalmente na sua estrutura, sendo tais alterações permanentes ou temporárias. A estabilidade das unidades estruturais depende do tipo de manejo do solo e de culturas (Campos *et al.*, 1999). A estrutura do solo é considerada como uma de suas mais

importantes propriedades do ponto de vista agrícola, pois a ela estão relacionadas outras propriedades fundamentais nas relações solo-planta (Ferreira *et al.*, 1999).

Segundo Schulze & Stott (1997), a agregação do solo se dá em três estágios, sendo o primeiro resultado da ação de ligantes inorgânicos, que mantém as partículas unidas por ligações eletrostáticas e resulta em agregados menores que 2  $\mu\text{m}$ . O segundo estágio, que inclui agregados entre 2 e 20  $\mu\text{m}$ , resulta da junção de partículas de microagregados unidas por materiais húmicos e polissacarídeos associados com cátions di e trivalentes, sendo que a sua persistência depende da persistência dos agentes ligantes. No terceiro estágio, raízes, pêlos radiculares e hifas de fungos, unem agregados do estágio anterior em agregados entre 20 e 200  $\mu\text{m}$ , sendo que estes podem ser alterados rapidamente pelo manejo do solo.

Como resultado dos fluxos de energia e matéria que ocorrem entre os componentes do sistema agropecuário de produção, há formação de agregados no solo, o que, em escala crescente, representa o grau de organização deste. Em uma fase preliminar, a formação de microagregados (diâmetro inferior a 0,25 mm) está relacionada à interação da matéria mineral entre si e com compostos orgânicos. Posteriormente, o crescimento de raízes e hifas de fungos, juntamente com resíduos de vegetais, insetos e outros organismos, estimula a formação de estruturas mais complexas e diversificadas, como macroagregados estáveis, com tamanho superior a 0,25 mm. Essas estruturas correspondem a um nível de organização mais elevado. A ocorrência de fluxos de energia reduzidos resulta em nível de organização baixo, em que a estrutura do solo é simples, com predomínio de microagregados, ao passo que com elevado fluxo de energia e matéria o nível de organização atingido é mais elevado, ocorrendo agregados maiores e formando estruturas grandes e complexas (Salton *et al.*, 2008).

Segundo Azevedo & Schulze (2007), macroagregados são mais dependentes de hifas de fungos e de pêlos radiculares, enquanto microagregados dependem mais das propriedades coloidais e da química do solo. Kushwaha *et al.* (2001), encontraram em macroagregados maior teor de carbono do que em microagregados. Liu *et al.* (2005), encontraram alta correlação entre a agregação do solo, carbono orgânico e polissacarídeos, principalmente nos macroagregados maiores que 0,25 mm, indicando que os polissacarídeos resultantes da decomposição dos resíduos vegetais são importantes agentes ligantes na estabilização dos agregados.

Salton *et al.* (2008) estudando estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuário verificaram que, de modo geral, independentemente da profundidade, neste experimento foram observados maiores percentuais de agregados grandes nos sistemas com pastagem permanente e menores para o sistema lavoura em plantio direto, ficando os sistemas com a rotação lavoura-pastagem em posição intermediária. Os autores comentam que a atividade do sistema radicular das gramíneas, associado à ausência de revolvimento do solo, contribui efetivamente para formação de macroagregados estáveis. As propriedades físicas do solo são alteradas pelo manejo, sendo que sistemas que proporcionam aumento do teor de carbono orgânico do solo também promovem maiores valores de diâmetro médio ponderado de agregados (Bertol *et al.*, 2004). Kushwaha *et al.* (2001), observaram maiores proporções de macroagregados quando este foi mantido com resíduos vegetais na superfície e sem preparo do solo. Silva *et al.* (2000), encontraram na camada superficial do solo os maiores valores de índice de floculação e de agregados maiores que 2 mm, tanto em mata nativa como em Sistema Plantio Direto (SPD), sendo estes valores relacionados com os maiores teores de matéria orgânica.

Panachuki *et al.* (2006) relatam que a erosão hídrica é o processo de degradação do solo que mais tem afetado a capacidade produtiva dos solos, facilitada e acelerada por interferência antrópica que, na maioria das vezes, resulta num processo de erosão acelerada. Para eles a degradação dos solos pode ser considerada um dos mais importantes problemas ambientais nos dias atuais, resultante de práticas inadequadas de manejo agrícola. Esse desgaste do solo deve ser compreendido quando se objetiva a manutenção ou o aumento da produtividade agrícola e a conservação ambiental, favorecendo a sustentabilidade de agroecossistemas. Estudando parâmetros físicos do solo e erosão hídrica sob chuva simulada, em área de integração agricultura-pecuária, os mesmos autores concluíram que, de maneira geral, o sistema de integração agricultura-pecuária sob plantio direto apresenta perdas de solo mais acentuadas que o sistema sob pastagem, tendo ocorrido o inverso com as perdas de água.

A presença de resíduos vegetais na superfície do solo reduz a velocidade de escoamento e pode reduzir a taxa de desagregação do solo. No trabalho de Cassol *et al.* (2004), o solo com 100% de cobertura por palha de soja teve uma perda de solo 10 vezes menor do que o solo descoberto. Silva *et al.* (2006), encontraram perda de água por escoamento superficial no plantio convencional de 222 mm, contra apenas 45 mm no plantio direto com boa cobertura do solo.

Costa *et al.* (2009) estudando propriedades físicas do solo em sistemas de manejo na integração agricultura-pecuária verificaram que o manejo da pastagem anual de inverno no sistema plantio direto, incluindo pastejo não modifica significativamente as propriedades físicas do solo. Já o revolvimento do solo com arado mais grade ou escarificador mais grade reduz o teor de carbono orgânico total, a estabilidade de agregados, a densidade e a capacidade de campo e aumenta a porosidade total, a macroporosidade e a capacidade de aeração do solo.

Serafim *et al.* (2008) relatam que a ausência de revolvimento dos sistemas de cultivo direto e integração proporciona a preservação e, conseqüentemente, aumento de poros gerados por raízes de plantas e por integrantes da mesofauna do solo

Bertol *et al.* (2004) encontraram maiores densidades do solo na camada superficial em um sistema plantio direto (SPD) do que em sistema plantio convencional, sendo este fato explicado pela pressão exercida no solo pelo trânsito de máquinas e ausência de preparo. No entanto, nem sempre, a maior densidade superficial é prejudicial para as culturas. Neste mesmo trabalho, a agregação do solo no SPD foi semelhante ao campo nativo, enquanto que no preparo convencional a agregação foi menor. Costa *et al.*, (2003) comentam que a diminuição da densidade na subsuperfície indica uma melhor qualidade física, devido à maior atividade da fauna edáfica e de raízes mantidas no SPD.

Para a implantação do SPD é imprescindível a presença de cobertura vegetal morta para proteger o solo. A manutenção de restos culturais na superfície do solo, num sistema de rotação de culturas, é um importante fator para propiciar melhorias na estrutura do solo, refletindo na infiltração de água, redução da temperatura superficial do solo e aumento da estabilidade dos agregados (Floss, 2000).

Quanto maior a quantidade de palha sobre o solo, maior tem de ser a força dos agentes compactantes para se atingir determinada densidade do solo. Isto se dá pela capacidade da palha presente na superfície, absorver parte da energia aplicada sobre o solo (Braidá *et al.*, 2006). Estes autores encontraram em quantidades de palha, acima de 10 Mg ha<sup>-1</sup>, dissipação de 30% da energia aplicada sobre o solo. Deixar o solo descoberto causa a degradação de sua estrutura, pelo impacto da gota de chuva e pela diminuição do teor de matéria orgânica (Wohlenberg *et al.*, 2004).

As raízes podem atuar como agentes recuperadores da qualidade física do solo. A utilização de espécies com diferentes características de sistema radicular, que podem

ser incluídas em sistema de rotação e/ou sucessão, é importante para o planejamento da recuperação de áreas fisicamente degradadas (Teixeira *et al.*, 2003; Spera *et al.*, 2009).

O uso de culturas que favorecem a agregação pode minimizar os efeitos negativos da degradação dos solos, porém, informações sobre quais sistemas de culturas são mais apropriados ainda são incompletos (Wohlenberg *et al.*, 2004).

Williams & Weil (2004), observaram o desenvolvimento de raízes de soja, em solo compactado, nos bioporos deixados por raízes de nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) e canola (*Brassica rapa*), demonstrando o benefício que culturas antecessoras podem trazer às subseqüentes. A aveia preta (*Avena strigosa*) tem sido muito utilizada como cobertura do solo em plantio direto, principalmente pela sua elevada produção de palha, supressão de plantas daninhas e melhorias nas características físicas do solo, como diminuição da densidade do solo, aumento da macroporosidade e aumento da infiltração de água (Santi *et al.*, 2003).

Roscoe & Machado (2002), citam que os métodos de fracionamento químico da matéria orgânica, têm sido conduzidos para o entendimento da pedogênese, da melhoria de propriedades físicas dos solos, das interações organo-minerais e na fixação de fósforo, entretanto, estes métodos têm contribuído pouco para a identificação de compartimentos da matéria orgânica do solo que diminuam sob manejo intensivo e de modo distinto ao longo do tempo. O fracionamento físico da matéria orgânica do solo, por outro lado, visa à separação de reservatórios funcionais da mesma e apresenta vantagens em relação aos tradicionais métodos de fracionamento químico, por possibilitar a separação de reservatórios da matéria orgânica de diferentes naturezas e graus de associação com a matriz do solo.

Dependendo do grau de associação com a matriz do solo, a matéria orgânica pode estar livre ou fracamente associada às partículas de solo, sendo chamada de matéria orgânica não complexada (MONC), ou pode estar fortemente ligada às partículas minerais, formando complexos organo-minerais (COM). Os COM são ditos primários quando resultam da interação direta entre partículas minerais e compostos orgânicos e secundários quando há o agrupamento de COM primários, também chamados de agregados (Roscoe & Machado, 2002). Devido à reduzida superfície específica e densidade de carga superficial, a fração areia apresenta pouco ou nenhum material orgânico fortemente ligado, sendo pobre em compostos organo-minerais, ao mesmo tempo, a maior parte da matéria orgânica não complexada encontra-se nesta classe de tamanho. As frações silte e argila são, no entanto amplamente dominadas por

compostos organo-minerais e contém a maior parte do carbono orgânico do solo (Roscoe & Machado, 2002).

O carbono pode acumular-se em frações lábeis ou estáveis da matéria orgânica do solo, o que pode ter implicações na sua permanência no solo assim como nas alterações das características físicas, químicas e biológicas (Bayer *et al.*, 2004). No fracionamento físico granulométrico a matéria orgânica do solo (MOS) é subdividida em matéria orgânica particulada (MOP) e fração associada aos minerais do solo (MOM). A fração particulada é a parte mais lábil do solo, aquela que responde prontamente aos sistemas de manejo, já a fração associada aos minerais é a parte mais estável, não apresentando sensibilidade imediata a alterações nas práticas de manejo do solo, sendo considerada o estoque de carbono a médio e longo prazo (Salton *et al.*, 2005). Cambardella & Elliott (1992), encontraram na matéria orgânica particulada, principalmente, areia, carvão vegetal e fragmentos de raízes em vários estados de decomposição. Segundo Rosa *et al.* (2003), a matéria orgânica lábil tem maior potencial nos estudos de ciclagem de nutrientes e de agregação do solo do que a matéria orgânica mineral.

Mielniczuk (1999) considera a MOS como o atributo que melhor representa a QS, devido a sua sensibilidade às práticas de manejo. A intervenção humana nos ecossistemas naturais para a implantação de atividades agropecuárias diminui os estoques e altera a composição química da matéria orgânica perdas de matéria orgânica do solo (MOS) chegam a mais de 50% dos teores iniciais, em períodos relativamente curtos (menos de 10 anos), especialmente nos solos de textura mais arenosa e onde as práticas de manejo do solo são menos conservacionistas (Mielniczuk *et al.*, 2003). Segundo o autor, o declínio dos estoques de MOS, ao longo do tempo, estará indicando algum erro no sistema de manejo adotado e sua persistência, inevitavelmente conduzirá a exploração agrícola a uma situação insustentável do ponto de vista econômico ou ambiental.

Porém, em algumas situações, notadamente naquelas induzidas por sistemas de manejo com histórico de adoção de curto prazo, este indicador pode não ser um eficiente discriminador das alterações na QS. Nesse caso, a avaliação de compartimentos da MOS, como a particulada (MOP), pode ser uma alternativa de incremento da sensibilidade (Bayer *et al.*, 2004).

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

do agroecossistema. Entre vários índices existentes, Blair *et al.* (1995) sugerem o Índice de Manejo de Carbono (IMC), o qual leva em consideração aspectos da labilidade da matéria orgânica do solo (MOS). A questão central do uso da MOS como indicador de sustentabilidade reside na definição do teor crítico, a partir do qual a QS fica comprometida. Certamente o teor crítico será variável de solo para solo. Porém, em regiões tropicais e subtropicais, o teor de carbono em solos no seu estado natural estável talvez possa ser tomado como referência.

Loss *et al.* (2009) comentam que o manejo orgânico pode ser uma forma adequada de se alcançar um sistema agrícola sustentável. Para eles, a utilização de sistemas de manejo que promovam diferentes aportes de biomassa vegetal pode ser identificada por meio da fração particulada da MOS, sendo possível esta ser utilizada como ferramenta para avaliar a qualidade do solo, principalmente em um curto período de tempo

Em decorrência do grande impacto dos sistemas de uso do solo nas condições ambientais, sistemas conservacionistas têm sido propostos com o intuito de reduzir modificações no ambiente necessárias ao processo de produção de alimentos, fibras e energia. Neste contexto, destaque tem sido dado ao sistema de plantio direto e à integração lavoura-pecuária, como alternativas de produção sustentável para as regiões tropical e subtropical. Esses sistemas combinam a ausência do revolvimento do solo e elevado aporte de resíduos, seja pela rotação de culturas anuais ou mesmo pela combinação de lavouras com pastagens. (Roscoe, 2006)

Nicoloso *et al.* (2008) salientam que visando à sustentabilidade do sistema produtivo, há necessidade de investigar sistemas de pastejo que proporcionem, no final do ciclo de utilização das pastagens, o aporte de uma quantidade satisfatória de fitomassa ao solo, possibilitando o estabelecimento e desenvolvimento das culturas de verão sob alta cobertura de solo. Ainda, a seleção de culturas de grãos de verão, com características para produzir grande quantidade de fitomassa, deve ser considerada nas áreas de integração lavoura-pecuária, a fim de compensar a retirada de resíduos para alimentação animal.



## MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa foi realizada nos laboratórios de física do solo e fertilidade do solo na Universidade Federal da Grande Dourados, no município de Dourados, MS. A área experimental utilizada no presente estudo está localizada na Fazenda Cabeceira, no município de Maracajú-MS, localizada a 22° 14' 00" S e 54° 49' 00" W. O solo da área experimental foi classificado segundo EMBRAPA (2006) como Latossolo Vermelho Distróférrico, textura muito argilosa, contendo originalmente vegetação de cerrado. As amostras foram coletadas nas áreas do sistema integração lavoura - pecuária, que instalado em 1972 passou por algumas adaptações, sendo que o atual modelo de sucessão de culturas está estabelecido desde 2003 e seu esquema está apresentado na Tabela 1.

As áreas sob lavoura foram cultivadas no sistema de plantio direto tanto para verão como inverno, sendo a de pastagem mantida sob pastejo intensivo, com lotação de 4 unidades animais (UA) por hectare no verão, diminuindo para 1,5 UA/ha no inverno.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com 5 repetições. Os tratamentos foram constituídos por um fatorial 6 x 4, totalizando 120 parcelas. Os tratamentos foram constituídos por cinco sistemas: (S1), (S2), (S3), (S4) e (S5) e mata (M) e 4 profundidades: (0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm) de coleta das amostras de solo.

As amostras referentes a cada sistema de sucessão e da mata foram coletadas no período da cultura de verão, em fevereiro de 2008, e suas culturas antecessoras bem como os sistemas de sucessão são apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Sequência de culturas nos sistemas de sucessão entre os anos de 2003 e 2008, nos cultivos de primavera-verão (P/V) e outono-inverno (O/I) no ano agrícola 2007/08.

Sistemas de Rotação	Anos agrícolas								
	2003	2004	2005		2006		2007	2008	
	Estações climáticas								
	P/V	O/I	P/V	O/I	P/V	O/I	P/V	O/I	P/V
S1	Algodão	Mi+brac	Soja	Mi+brac	Soja	Brac	Brac	Aruanã	Soja
S2	Soja	Av+Tan	Algodão	Mi+brac	Soja	Mi+brac	Soja	Brac	Braq
S3	Soja	Mi+brac	Soja	Brac	Brac	Aruanã	Soja	Av+Tan	Algodão
S4	Brac	Aruanã	Soja	Av+Tan	Algodão	Mi+brac	Soja	Mi+brac	Soja
S5	Soja	Brac	Brac	Aruanã	Soja	Av+Tan	Algodão	Mil+brac	Soja

Brac = *Brachiaria ruziziensis*, Av+Tan = Aveia +Tanzânia, Mi+brac = Milho + *Brachiaria ruziziensis*. P/V = primavera-verão, O/I = outono-inverno.

Foram coletadas amostras de solo com estrutura preservada para determinação de densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total, análise de estabilidade de agregados, acúmulo de carbono e fracionamento de matéria orgânica.

Densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total foram determinados pelo método da mesa de tensão (Claessen, 1997).

As análises de estabilidade de agregados foram realizadas baseando-se em Kemper & Rosenau (1986) e nas adaptações propostas por Reicherdt *et al.* (1993), Claessen, (1997)), Castro Filho *et al.* (1998), Palmeira *et al.* (1999) e Sá *et al.* (2000), coletaram-se amostras com estrutura preservada, nas quatro camadas de estudo e em cada parcela, que foram secadas ao ar e destorroadas manualmente. Posteriormente separou-se a fração que passou por uma peneira de 9,52 mm e foi retida na de 4,76 mm. O material retido nessa peneira foi utilizado para avaliação da estabilidade dos agregados que foi obtida por meio de peneiramento em água, utilizando-se um oscilador vertical de amplitude de 8 cm e frequência de 40 oscilações por minuto. Foram utilizadas amostras de aproximadamente 25 g, que foram pré umedecidas por capilaridade por um tempo de 30 minutos e colocadas na parte superior do conjunto de peneiras do aparelho oscilador por um tempo de 12 minutos. Uma amostra foi secada em estufa a 105° C por 48 horas para determinação da umidade dos agregados secados

ao ar. A quantidade de agregados retidos em cada peneira foi secada em estufa a 105° C por 48 horas e os resultados foram obtidos em percentagem de agregados em relação à massa seca da amostra inicial. As frações separadas foram os agregados > 1,00 mm; 1,00-0,50 mm; 0,50-0,25 mm; 0,25-0,105 e < 0,105 mm. Com estes valores calculou-se o diâmetro médio ponderado (DMP) e o diâmetro médio geométrico (DMG).

Os teores de carbono das amostras de solo foram determinados por oxidação via úmida, sendo expressos em  $\text{g kg}^{-1}$  de solo (Claessen, 1997).

O método de fracionamento da matéria orgânica do solo utilizado foi o fracionamento físico granulométrico, o qual baseia-se na hipótese de que as partículas minerais associam-se de forma distinta à matéria orgânica do solo. Após dispersão do solo sob agitação lenta por 14 horas, as amostras analisadas foram passadas através de peneira com malha de 0,053 mm de diâmetro. A matéria orgânica particulada (MOP), retida na peneira foi pesada e nela determinado o teor de carbono orgânico total da fração. Posteriormente os resultados foram transformados para teores das frações pela massa total do solo. A fração que passa pela peneira é considerada aquela associada aos minerais da fração fina do solo (MOM) e foi obtida pela diferença entre a matéria orgânica da amostra não fracionada e a MOP. Os teores de carbono da fração MOM também foram obtidos pela diferença entre os teores totais e os teores da fração MOP (Salton *et al.*, 2005).

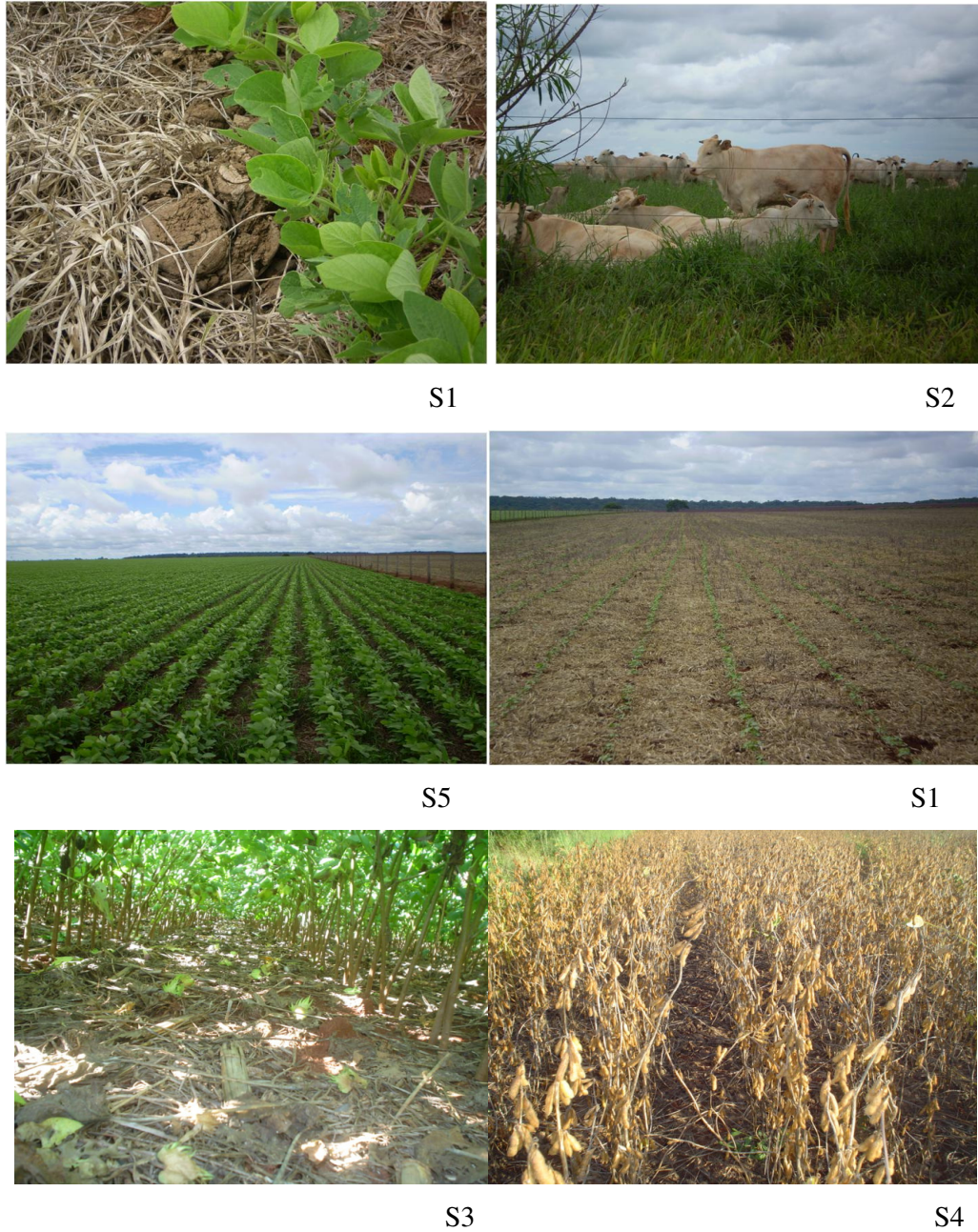


Figura 1. Sistemas de rotação/sucessão das culturas de verão avaliadas na Fazenda Cabeceira, Maracajú-MS.

Os dados coletados nas análises foram utilizados para cálculo de alguns índices, conforme proposto por Rangel *et al.* (2008) e Silva *et al.*, (2007), sendo eles:

- a) Índice de estoque de carbono é dado pela relação entre o estoque de carbono em cada tratamento e o estoque de carbono na mata que é o ambiente de referência

IEC = estoque de carbono no tratamento / estoque de carbono na mata

b) labilidade: relação entre a quantidade de carbono orgânico particulado e o carbono orgânico mineral de cada tratamento

L = carbono orgânico particulado / carbono orgânico mineral

c) índice de labilidade: relação entre a labilidade em cada tratamento e na mata que é o ambiente de referência.

IL = L no tratamento / L na mata

d) índice de manejo de carbono: multiplicação do índice de estabilidade de carbono, índice de labilidade vezes cem para dar valores em porcentagem.

IMC = (IEC x IL) x 100

O estoque de carbono (carbono acumulado) foi obtido pelo produto entre seus teores ( $\text{g kg}^{-1}$  de solo), pela densidade do solo, na parcela e na camada correspondente ( $\text{g dm}^{-3}$ ) de solo, obtendo-se o resultado em  $\text{g dm}^{-3}$  e transformada para  $\text{mg ha}^{-1}$  quando se considera uma camada específica.

Estoque de C =  $C_t \times D_s \times \text{espessura camada (cm)}$

Características significativas pelo teste F da análise de variância do experimento para efeito individual dos fatores de variação estudados foram submetidas ao teste de média de Tukey a 5% de probabilidade. Quando houve efeito significativo da interação dos fatores de variação estudado para determinada característica avaliada, procedeu-se o desdobramento estatístico do efeito, seguindo a aplicação do teste de Tukey a 5% de probabilidade. Utilizou-se o aplicativo computacional SAEG para análise estatística dos dados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de quadrado médio para densidade, macroporosidade e porosidade total do solo são apresentados no Quadro 1, bem como a significância para as fontes de variação para o teste F.

Quadro 1. Resumo da análise de variância para densidade do solo (Ds), macroporosidade (MACRO) e porosidade total (Pt) em função de diferentes sistemas e profundidades.

Fonte de Variação	Quadrado médio		
	Densidade do solo	Macroporosidade	Porosidade total
Manejo	0,0720*	660,1645*	461,3061*
Profundidade	0,3091*	570,0851*	430,8841*
Manejo x Profundidade	0,0334*	103,5181*	83,9702*
Resíduo	0,0051	12,8083	11,5870
CV (%)	5,11	31,03	9,87

\*Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade

Os valores de densidade do solo foram diferentes entre os sistemas e nas diferentes profundidades. Na camada superficial o ambiente de referência mata (M) apresentou os menores valores de densidade do solo, seguidos pelo sistema 5 (S5) e sistema 4 (S4), esse por sua vez diferiu do sistema 3 (S3) e do sistema 1 (S1). O maior valor de densidade do solo na profundidade de 0 – 5 cm foi verificado no sistema 2 (S2). Na camada (5 - 10 cm), os valores de densidade do solo foram menores na Mata (M), seguidos por S4 e S3 que por sua vez não diferiu do S1. As maiores densidades

encontradas nessa profundidade foram verificadas no sistema 1 (S1) e sistema 5 (S5). Nas demais profundidades a mata apresentou menores valores de densidade que os demais sistemas, e o sistema 2 (S2) apresentou os maiores valores de densidade em todas as profundidades (Quadro 2).

Quadro 2. Valores de densidade do solo ( $\text{Mg m}^{-3}$ ) nos diferentes sistemas e profundidades estudadas.

Profundidade (cm)	Sistemas de sucessão					
	S1	S2	S3	S4	S5	M
	----- $\text{Mg.m}^{-3}$ -----					
0-5	1,31	1,57	1,37	1,21	1,14	0,94
	Cb	Aa	Bb	Dd	Ec	Fb
5-10	1,45	1,55	1,47	1,40	1,57	1,24
	Ba	Aba	Bba	Cc	Aa	Da
10-15	1,46	1,57	1,45	1,51	1,50	1,26
	Ca	Aa	Ca	Bb	Bb	Da
15-20	1,47	1,56	1,44	1,56	1,53	1,24
	Ba	Aa	Ba	Aa	Aab	Ca

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A maior densidade apresentada no sistema 2 (S2) deve-se a um importante componente adicionado ao sistema, o gado que provoca pisoteio aumentando a densidade do solo. No entanto, nas profundidades maiores essa diferença entre os manejos já é reduzida. Isso demonstra que as alterações nos manejos provocam alterações mais bruscas na superfície do solo, especialmente no sistema de sucessão pastagem sobre soja no último ciclo. Esses resultados corroboram com os obtidos por Serafim *et al.* (2008) que relatam maiores valores de densidade do solo na camada de 0 – 5 cm, obtido em sistema de integração lavoura- pecuária, quando comparado com sistema plantio direto. Esses autores citam ainda a diminuição dessa diferença com a profundidade. Freddi *et al.* (2007) analisando o tráfego de máquinas observaram que os maiores valores de Ds em Latossolo Vermelho de textura média foram na camada de 0 – 10 cm, o que corrobora os resultados obtidos nesse trabalho.

Quando se analisa a densidade do solo entre as profundidades, verifica-se que os menores valores de densidade foram encontrados na profundidade de 0-5 cm (Quadro 2), exceto no S2, que continha pastagem no momento da coleta, e, onde não houve diferença entre os valores de densidade do solo entre as profundidades. No entanto, foi possível constatar que os valores de densidade nesse sistema de rotação foram

numericamente mais elevados que nos outros ambientes, resultado do pisoteio dos animais. A pressão de pisoteio dos animais ocasiona alterações na densidade do solo e porosidade do solo, especialmente entre 3 a 6 cm de profundidade (Bertol, *et al.*1997). As pressões proporcionadas pelo pisoteio de diferentes animais explorados zootecnicamente são superiores aquelas exercidas por máquinas agrícolas. A pressão de 190 kPa decorrente do pisoteio de um bovino adulto é, por exemplo, 106% maior do que aquela proporcionada por um trator agrícola (Souza *et al.*,1998)

Por outro lado, quando a pastagem estabelecida é sucedida por alguma cultura, esse efeito é diminuído, parte por decomposição das raízes presentes no solo formando galerias e parte pelo aporte de material orgânico. É provável que o efeito da compactação tenha sido amenizado pelo crescimento radicular. A mitigação do efeito da compactação do solo pelo crescimento radicular tem sido observada em diferentes condições (Moraes *et al.*, 2002). No trabalho realizado por Siqueira Júnior (2005) observa-se que o efeito do pisoteio dos animais, que promove aumento na densidade do solo, se perde ao longo do sistema de uso, com o repouso da pastagem.

Ainda com relação à profundidade de 0 – 5 cm se observam os maiores teores de matéria orgânica no solo, fato relacionado ao aporte de material orgânico residual das culturas no local e maior atividade do sistema radicular nos primeiros centímetros do solo. Braida *et al.* (2006) concluíram que, quanto maior for a quantidade de palha sobre o solo, menor é a densidade de solo atingida.

Para amenizar a compactação do solo, pelo pisoteio do gado, outra alternativa é ajustar a carga animal ao crescimento da pastagem, evitando alterações na densidade do solo e na produtividade de grãos, conforme observado por Silva *et al.* (2000) em um Argissolo arenoso e por Flores *et al.*(2007) em Latossolo Vermelho.

Segundo Argenton *et al.* (2005), quando a densidade do solo for superior a 1,30 g cm<sup>-3</sup>, devem-se usar práticas de cultivo que favoreçam o crescimento do sistema radicular e reduzam a densidade. Por outro lado, Reinert *et al.* (2001), indicam que para solos argilosos somente os valores de densidade acima de 1,45 g.cm<sup>-3</sup> são críticos ao crescimento radicular. Apesar de que as comparações de densidades de solo entre experimentos nem sempre são válidas, neste estudo, onde o solo é de textura muito argilosa, apenas o sistema 2 (S2) na camada de 0 – 5 cm apresentou densidade superior ao valor crítico proposto por esses autores, mostrando que o solo apresentava condições para um adequado desenvolvimento vegetal. Rosolem *et al.* (1999), encontraram em solo com 48% de argila densidade crítica ao crescimento radicular de 1,36 g cm<sup>-3</sup>,



enquanto que em solo com 41% de argila uma densidade de  $1,18 \text{ g cm}^{-3}$  já causou prejuízo ao desenvolvimento radicular.

Os valores de macroporosidade são mais elevados na camada superficial para alguns tratamentos (M, S5 e S4). Quando analisados no perfil do solo, estes também apresentam maior número de macroporos se comparado aos outros manejos. Os sistemas de sucessão S3, S2 e S1 não apresentam diferença significativa Quadro 3.

Quadro 3. Valores de macroporosidade (%) em diferentes sistemas e profundidades.

Profundidade (cm)	Sistemas de sucessão					
	S1	S2	S3	S4	S5	M
	-----%-----					
0-5	9,24	4,74	9,86	22,21	30,24	31,25
	Ca	Cab	Ca	Ba	Aa	Aa
5-10	7,06	7,69	7,34	12,78	9,47	18,96
	Bab	Ba	Ba	ABb	Bb	Ab
10-15	7,71	4,92	8,06	8,66	9,36	17,45
	Bab	Bab	Ba	Bc	Bb	Ab
15-20	5,82	5,27	7,93	5,33	7,77	17,60
	Bb	Bb	Ba	Bd	Bb	Ab

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A partir da camada de 5-10 cm, o tratamento mata (M) apresentou a maior quantidade de macroporos em relação aos outros tratamentos, por sua vez os outros tratamentos não apresentaram diferença significativa entre si até a profundidade de 15-20 cm.

Para os sistemas de sucessão que proporcionaram maiores valores de Ds nas diferentes profundidades avaliadas, foram observados menores valores de macroporosidade. Isso porque o volume de macroporos é expressivamente diminuído quando aumenta o adensamento causado pela pressão mecânica exercida sobre o solo, independente se pelo pisoteio animal ou pelo tráfego de máquinas no sistema plantio direto, refletindo-se num aumento menos acentuado do volume de microporos e numa diminuição também pouco expressiva do volume total de poros. Dessa maneira, pode-se dizer que a macroporosidade (Quadro 3) apresentou valores com tendência inversa ao da densidade, o que é explicado do mesmo modo que na densidade.

Segundo Bertol *et al.* (2000) os macroporos são os primeiros e mais intensamente afetados pela pressão mecânica exercida sobre o solo.

A macroporosidade é um aspecto importante no desenvolvimento radicular e conseqüentemente no desenvolvimento das plantas. Valores de macroporosidade devem ser de pelo menos 10% do volume total do solo para permitir as trocas gasosas e líquidas entre o solo e a atmosfera (Xu *et al.*, 1992). Dao (1996), concluiu que a manutenção de resíduos na superfície do solo contribui para o aumento da macroporosidade na camada superficial.

Feng *et al.* (2002) citam que valores de macroporosidade de  $0,10 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$  em solos argilosos já causa inibição ao suprimento adequado de oxigênio às plantas, sendo necessários valores mais altos que esse para porosidade de aeração. Mas de maneira geral, o valor dado como crítico às plantas é  $0,10 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$  (Pagliai *et al.*, 2003).

A análise de variância para microporosidade foi significativa ( $P < 0,05$ ) apenas para profundidade (Quadro 4), Sendo os valores de microporos encontrados nas análises estatisticamente iguais para todos os manejos.

Quadro 4. Resumo da análise de variância para microporosidade em função diferentes sistemas e profundidades.

Fonte de Variação	Quadrados médios Microporosidade
Manejo	106,2758 <sub>ns</sub>
Profundidade	20,2560*
Manejo x Profundidade	5,3854 <sub>ns</sub>
Resíduo	4,2872
CV (%)	9,02

\*Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade, (ns) não significativo.

O sistema de plantio direto, ao manter altas quantidades de resíduos na superfície do solo, proporciona diminuição da densidade da camada superficial, sendo importante para a infiltração de água, trocas gasosas e desenvolvimento radicular. No trabalho de Braida *et al.* (2006), a presença de palha sobre o solo resultou em dissipação da energia de compactação e resultou em menor densidade do solo. Os mesmos autores ainda relatam que estes efeitos são mais pronunciados em solo argiloso do que arenoso, devido à maior interação da matéria orgânica com as partículas de argila.

Quando comparamos os valores de microporos nas diferentes profundidades observamos maiores percentuais de microporos nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm (Quadro 5). Esses valores mais elevados na superfície são condizentes com o efeito da pressão exercida pelo pisoteio animal e tráfego de máquinas na área de estudo. De acordo com Oliveira (2002), a utilização intensiva de equipamentos agrícolas em todas

as operações agrícolas (semeadura, tratos culturais e colheita) tem promovido aumento da compactação, principalmente na zona de exploração do sistema radicular da planta, ou seja, na camada mais superficial. A compactação do solo tem sido verificada através do aumento da densidade do solo e microporosidade, da diminuição da porosidade total e, principalmente da macroporosidade.

Quadro 5. Valores médios de quantidade de microporos (%) em diferentes profundidades

Profundidade (cm)	Microporosidade (%)
0-5	24,1 A
5-10	22,9 AB
10-15	22,6 B
15-20	22,2 B

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

A porosidade total do solo segue a mesma tendência da quantidade de macroporos. Os valores de Pt são maiores no ambiente de referência mata (M), que não apresentou diferença significativa do sistema 5 (S5) e sistema 4 (S4) (Quadro 6). Os menores valores de Pt foram encontrados no sistema 2 (S2) e sistema 1 (S1), o que pode ser justificado pela adição do componente animal ao sistema, ocasionando o pisoteio e provocando um maior adensamento do solo.

Quando analisada nas diferentes profundidades do solo a Pt apresenta maiores alterações no sistema 4 (S4), a qual é maior na superfície do solo e diminui com a profundidade. Os manejos mata (M) e o sistema 5 (S5) apresentaram maiores valores de Pt na superfície do solo.

Quadro 6. Valores médios de porosidade total (Pt %) em diferentes sistemas e profundidades.

Profundidade (cm)	Sistemas de sucessão					
	S1	S2	S3	S4	S5	M
	-----%-----					
0-5	34,53 Ca	27,39 Ca	35,51 BCab	42,64 ABa	48,83 Aa	51,92 Aa
5-10	31,14 ABb	29,31 Ba	33,11 ABb	33,81 ABb	30,94 ABb	40,31 Ab
10-15	31,68 ABb	27,46 Ba	34,20 ABb	30,37 ABc	31,17 ABb	38,79 Ab
15-20	30,41 ABb	28,25 Ba	37,98 Aa	27,55 Bc	30,75 ABb	39,40 Ab

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

A matéria orgânica é fundamental na ciclagem de nutrientes, na complexação de metais e na atividade da biota do solo, portanto sua presença nas camadas mais superficiais, onde se concentra grande parte do sistema radicular é um aspecto benéfico no sistema agrícola (De Bona *et al.*, 2006).

Com a diminuição do espaço poroso do solo, principalmente de macroporos, decorrente da compactação, há menos oxigênio disponível às raízes. A redução dos macroporos interfere na capacidade de armazenamento e disponibilidade de água no solo, onde as raízes apresentam modificações morfológicas (Guimarães e Moreira, 2001).

Segundo Stone e Guimarães (2005), as diferenças nos atributos físicos do solo entre diferentes sistemas de rotação de culturas podem estar relacionadas com a capacidade de cada sistema em alterar o conteúdo de matéria orgânica do solo.

A suscetibilidade de um solo à compactação torna-se menor à medida que se aumenta a quantidade de material orgânico no solo, devido ao efeito amortecedor da matéria orgânica, dissipando parte da energia de compactação e à capacidade que a matéria orgânica tem de estabelecer ligações com as partículas de solo, aumentando a coesão entre elas (Braidá *et al.*, 2006).

A estabilidade de agregados tem sido utilizada como indicador da qualidade física do solo, pois é sensível às alterações, conforme o manejo adotado (Wendling *et al.*, 2005; Reichert *et al.*, 1993; Castro Filho *et al.*, 1998; Palmeira *et al.*, 1999; Sá *et al.*, 2000; Pedrotti *et al.*, 2003; Wohlenberg *et al.*, 2004; Albuquerque *et al.*, 2005; Ferreira *et al.*, 2007; Salton *et al.*, 2008).

A análise de variância para diâmetro médio geométrico de agregados, diâmetro médio ponderado de agregados, agregados maiores que 1mm e agregados menores que 1mm foi significativa ( $P, < 0,05$ ) para manejo, para profundidade e para a interação entre manejo e profundidade (Quadro 7).

Quadro 7. Resumo da análise de variância para diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP), agregados maiores que 1 mm (>1mm) e agregados menores que 1 mm (<1mm) em função de diferentes sistemas e profundidades.

Fonte de Variação	Quadrado médio			
	DMG	DMP	>1mm	<1mm
Manejo	0,1370*	0,0246*	38,8993*	38,8993*
Profundidade	0,4627*	0,0734*	121,4175*	121,4175*
Man. x Prof.	0,0699*	0,0094*	13,5980*	13,5980*
Resíduo	0,0365	0,0042	5,5387	5,5387
CV (%)	7,18	2,37	2,43	66,57

\*Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

O diâmetro médio geométrico dos agregados (DMG) não apresentou diferença significativa entre os manejos na camada superficial do solo, sendo que maiores diferenças são observadas em profundidade. O sistema mata (M) não apresentou diferença nos valores de DMG entre as profundidades estudadas (Quadro 8).

Quando analisado cada sistema separadamente nas profundidades, observa-se que existe uma tendência geral de que o DMG diminua com a profundidade. Avaliando o DMG sob diferentes sistemas de uso, Silva *et al.* (2005) também relatam que houve diminuição dos valores com a profundidade.

Na camada de 5-10 cm os valores de DMG nos sistemas que incluem a pastagem foram menores que nos demais tratamentos. O efeito do pisoteio animal nessas áreas proporciona tal evidência. Warren *et al.* (1986), trabalhando com efeitos do pisoteio animal sobre as propriedades físicas do solo, observaram que o pisoteio sobre o solo causou destruição mecânica dos agregados e compactou a camada superficial do solo. Trabalhos que avaliam os efeitos do tráfego animal sobre as propriedades físicas do solo (Kondo 1998; Sheath e Carlson, 1998; Singleton e Addison, 1999), relatam que, de maneira geral, a compactação ocorre nos primeiros centímetros do solo. Essa compactação ocasionada pelo pisoteio animal se reflete na diminuição da qualidade estrutural representada pelos menores valores de DMG.

Quadro 8. Valores médios de diâmetro médio geométrico (%) de agregados em diferentes sistemas e profundidades.

Profundidade (cm)	Sistemas de sucessão					
	S1	S2	S3	S4	S5	M
	-----%-----					
0-5	2,77 Aa	2,77 Aa	2,81 Aa	2,77 Aa	2,81 Aa	2,80 Aa
5-10	2,59 Bb	2,51 Bb	2,79 Aa	2,72 Aab	2,62 ABb	2,86 Aa
10-15	2,73 ABa	2,75 Aa	2,62 BCb	2,62 BCab	2,56 Cb	2,81 Aa
15-20	2,24 Cc	2,67 ABCa	2,37 Cc	2,57 Bb	2,33 Cc	2,76 Aa

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Os valores de diâmetro médio ponderado de agregados (DMP) não apresentaram diferença estatística significativa em função dos manejos na profundidade de 0-5 cm. Na profundidade de 5 – 10 cm os maiores valores de DMP foram obtidos nos tratamentos mata (M), sistema 3 (S3) e sistema 4 (S4), sendo que esse último tratamento não se diferenciou dos demais. Observa-se na camada de 10 – 15 cm que os menores valores de DMP foram encontrados no sistema 5 (S5), enquanto na camada de 15 -20 cm foram observados os menores valores de DMP nos sistemas S1, S3 e S5 (Quadro 9).

Quadro 9. Valores médios de diâmetro médio ponderado (%) de agregados em diferentes sistemas e profundidades

Profundidade (cm)	Sistemas de sucessão					
	S1	S2	S3	S4	S5	M
	-----%-----					
0-5	2,85 Aa	2,84 Aa	2,86 Aa	2,84 Aa	2,83 Aa	2,85 Aa
5-10	2,76 Bb	2,76 Bb	2,85 Aa	2,82 ABa	2,77 Bb	2,87 Aa
10-15	2,81 ABa	2,83 ABa	2,77 BCb	2,78 BCb	2,74 Cb	2,85 Aa
15-20	2,66 Cc	2,79 Aab	2,67 Cc	2,76 Bb	2,64 Cc	2,83 Aa

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Ao analisar os valores de DMP em cada manejo isoladamente, observa-se que apenas o tratamento mata (M) não apresentou diferença no DMP em profundidade, por

sua vez, todos os outros tratamentos apresentaram valores de DMP menores na camada de 15-20 cm.

Liu *et al.* (2005), encontraram maiores valores de diâmetro médio ponderado de agregados, após 8 semanas da adição de resíduos de centeio e de azevém sobre o solo, enquanto os resíduos de cevada proporcionaram valores de DMP menores e iguais ao campo descoberto. Práticas culturais que promovem um maior aporte de resíduos têm se mostrado eficientes em aumentar a estabilidade de agregados, pois além de aumentarem as entradas de carbono, atuam impedindo o impacto direto das gotas de chuva e mantém mais uniforme a umidade e a temperatura (Wendling *et al.*, 2005).

Calonego e Rosolem (2008) analisando sistemas de manejo observaram que na camada de 5 – 10 cm o DMP é aumentado no plantio direto e com o cultivo de plantas de cobertura, quando comparado ao solo escarificado.

O número de agregados com diâmetro maior que 1mm apresentou diferença significativa entre os tratamentos nas camadas de 5-10 cm, 10-15 cm e 15-20 cm. A quantidade de agregados maior que 1 mm é maior no ambiente mata (M), nessas camadas (Quadro 10).

Quando analisamos cada manejo em profundidade verificamos que o número de agregados maior que 1mm tende a ser maior na superfície do solo para todos os manejos.

Quadro 10. Valores médios (%) de agregados maiores que 1mm em diferentes sistemas e profundidades.

Profundidade (cm)	Sistemas de sucessão					
	S1	S2	S3	S4	S5	M
	-----%					
0-5	98,69 Aa	98,48 Aa	99,03 Aa	98,38 Aa	98,09 Aa	98,59 Aab
5-10	95,32 Bb	95,37 Bb	98,76 Aa	97,71 ABa	95,59 ABb	99,62 Aa
10-15	97,20 ABa	97,74 ABb	95,32 Bb	95,38 Bb	94,30 Bb	98,77 Aab
15-20	91,52 Cc	96,48 Ab	91,66 Cc	95,00 Bb	90,06 Cc	97,68 Ab

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

A manutenção da arquitetura de poros e a permanência intacta dos restos de raízes das culturas, associada à ação da meso e macrofauna na fragmentação dos resíduos e

formação de galerias, favorecem a aeração e o movimento da água, produzindo trocas mais intensas e melhorando a agregação (Castro Filho *et al.*, 1998).

O número de agregados menores que 1mm apresentou os menores valores no ambiente de referência – mata (M) e no sistema 2 (S2) na camada de 10-15 e 15-20 cm (Quadro 11).

Wohlenberg *et al.* (2004), estudando diversos sistemas de culturas encontraram maior percentagem de agregados maiores que 2 mm em sistemas que proporcionaram aumento nos teores de matéria orgânica do solo, enquanto que sistemas sem cobertura do solo, provocaram diminuição dos teores de carbono do solo e diminuição da percentagem de agregados maiores que 2 mm.

Sá *et al.* (2000), também encontraram alta estabilidade de agregados em Latossolo Vermelho Distroférrico e sugerem que os altos teores de gibsita e óxidos de ferro podem ser os responsáveis por esta estabilidade. Vitorino *et al.* (2003), confirmam esta proposição ao encontrarem alta estabilidade de microagregados em solos gibsíticos, enquanto em solos cauliníticos o efeito foi inverso. Pedrotti *et al.* (2003), encontraram alta correlação entre a agregação do solo e os teores de óxidos de alumínio, principalmente nas formas amorfas, que favorecem uma estrutura granular.

Quadro 11. Valores médios (%) de agregados menores que 1mm em diferentes sistemas e profundidades.

Profundidade (cm)	Sistemas de sucessão					
	S1	S2	S3	S4	S5	M
	-----%-----					
0-5	1,31 Ac	1,52 Ab	0,97 Ac	1,62 Ab	1,91 Ac	1,41 Aa
5-10	4,68 Ab	4,63 Aa	1,24 Bc	2,29 Bb	4,41 ABb	1,38 Bb
10-15	2,80 Bc	2,26 Bb	4,68 ABb	4,17 ABa	5,70 Ab	1,23 Ba
15-20	8,48 ABa	3,52 Cab	8,34 Aa	5,00 BCa	9,94 Aa	2,32 Ca

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Ao analisar cada tratamento no perfil do solo observa-se tendência inversa do encontrado para os agregados maiores que 1 mm (Quadro 10). Nas camadas mais profundas do solo o número de agregados menores que 1mm é mais elevado que nas camadas superficiais.



Uma vez que o fracionamento granulométrico da matéria orgânica do solo (MOS) em seus compartimentos pode auxiliar na avaliação das modificações decorrentes do uso devido à maior sensibilidade dessas frações frente ao manejo (Nicoloso, 2005), torna-se possível usar esta ferramenta para avaliar a qualidade do solo, principalmente em um curto período de tempo (Conceição *et al.*, 2005).

A análise de variância para matéria orgânica particulada foi significativa ( $P < 0,05$ ) para manejo, para profundidade e para a interação. Já para matéria orgânica associada à fração mineral e carbono total a interação entre manejos e profundidades não foi significativa (Quadro 12).

Quadro 12. Resumo da análise de variância para matéria orgânica particulada (MOP), matéria orgânica associada aos minerais (MOM) e carbono total (CT) em função de diferentes sistemas e profundidades.

Fonte de Variação	Quadrados médios		
	MOP	MOM	CT
Manejo	39,6414*	100,7888*	257,8932*
Profundidade	503,9946*	494,0165*	1933,848*
Manejo x Profundidade	7,7096*	11,9566	15,9863
Resíduo	1,6536	13,6939	11,6862
CV (%)	33,29	17,39	13,603

\*Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade, (ns) não significativo.

Os teores de matéria orgânica particulada foram mais elevados no ambiente de referência- mata (M) que não apresentou diferença estatística dos tratamentos sistema 4 (S4) e sistema 3 (S3) na profundidade de 0 – 5 cm (Quadro 13). Esse resultado foi devido ao grande aporte de resíduos vegetais na superfície do solo num ambiente de mata nativa. De maneira geral, observa-se que nas camadas intermediárias, os valores de matéria orgânica particulada foram maiores na Mata que nos demais sistemas, embora, esses não tenham se diferenciado entre si. Na maior profundidade analisada (15 – 20 cm) não houve diferença nos teores de MOP entre os sistemas estudados.

Quadro 13. Valores médios de matéria orgânica particulada ( $\text{g kg}^{-1}$ ) em diferentes sistemas e profundidades.

Profundidade (cm)	Sistemas de sucessão					
	S1	S2	S3	S4	S5	M
	-----g.kg <sup>-1</sup> -----					
0-5	8,73 Ba	8,26 Ba	10,51 Aa	10,17 ABa	6,19 Ca	15,69 Aa
5-10	2,50 Bb	2,32 Bb	2,74 Bb	2,82 Bb	1,46 Bb	4,77 Ab
10-15	1,45 Bc	1,20 Bc	1,33 Bc	1,50 ABc	0,90 Bb	3,31 Ac
15-20	1,11 Ac	0,95 Ac	0,97 Ac	1,01 Ac	0,67 Ab	2,15 Ad

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Quando analisamos as diferentes profundidades isolando cada manejo verificamos que a matéria orgânica particulada se concentra na superfície do solo em todos eles e essa concentração é ainda maior no ambiente de mata nativa. Essa tendência se deve ao fato que todos os sistemas estudados são realizados em sistema de integração lavoura pecuária, sendo os cultivos das lavouras executados em sistema plantio direto, preservando os restos orgânicos na superfície do solo.

Observa-se ainda que a MOP foi eficiente para evidenciar diferenças entre os sistemas de sucessão/rotação estudados principalmente na profundidade de 0-5 cm. Respostas semelhantes em que os teores de MOP foram superiores na camada de 0 – 5 cm, favorecendo a distinção de manejos em função do aporte de material orgânico ao solo foram obtidas por Nicoloso (2005) e por Loss *et al.* (2009).

Verifica-se ainda que o sistema 5 (S5) foi o que proporcionou menores teores de MOP nessa camada. O menor aporte de material orgânico proporcionado pela cultura do algodão como cultura antecessora foi a provável causa desse resultado. Fato importante deve ser relatado no que se refere ao sistema de rotação empregado nesse trabalho, onde verifica-se a recuperação do teor de MOP ao longo do tempo. O efeito de diminuição da MOP promovido pela cultura do algodão é evidente, uma vez que a soja sucede o cultivo de verão com algodão e posteriormente a área é cultivada com pastagem. Nessa sequência de sistemas de cultivo, os teores de MOP já foram recuperados, mantendo a sustentabilidade do conjunto imposto pelo sistema de plantio direto em integração lavoura-pecuária. Tais fatos permitem inferir que a inclusão da cultura do algodão no

sistema de rotação de culturas deve ser acompanhado de um cuidado especial na reposição de fitomassa ao sistema para que não haja deterioração da qualidade do solo.

Já os valores de matéria orgânica associada a minerais (MOM) apresentaram diferença estatística significativa somente para os tipos de sistemas estudados (Quadro 14).

Quadro 14. Valores médios de matéria orgânica associada à fração mineral ( $\text{g kg}^{-1}$ ) em diferentes sistemas de sucessão.

Tratamentos	Matéria orgânica associada a minerais (MOM) $\text{g kg}^{-1}$
M	24,68 A
S3	22,19 A
S1	21,10 AB
S2	21,01 AB
S4	20,86 AB
S5	17,74 B

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Esse tipo de matéria orgânica de difícil decomposição apresentou teores médios estatisticamente iguais em quase todos os tratamentos, com exceção apenas do sistema 5 (S5), que apresentou os menores teores de matéria orgânica associada aos minerais. Esse dado revela a estabilidade do sistema de rotação dessas culturas dentro da integração lavoura-pecuária, pois esse tipo de matéria orgânica de difícil decomposição apresentam-se em teores muito próximos em todos os manejos estudados. A matéria orgânica associada aos minerais (MOaM) da fração fina do solo tem ciclagem mais lenta, no que se refere a sua formação e decomposição, sendo necessários longos períodos de tempo para sua alteração, além de que a sua proteção dentro dos microagregados menores que 0,053 mm, altamente estáveis, impedem a ação da biota decompositora (Bayer *et al.*, 2004).

Analisando nas diferentes profundidades, observa-se que a matéria orgânica associada a minerais da mesma forma que a matéria orgânica particulada, tende a se concentrar na profundidade de 0 – 5 cm do solo (Quadro 15)

A MOaM é, normalmente, menos modificada pelas diferentes formas de manejo utilizadas, principalmente a curto prazo (Bayer *et al.*, 2004). Entretanto, Loss *et al* (2009) verificaram diferenças nos valores de MOaM entre profundidades avaliadas e relatam que essas diferenças podem estar associadas às práticas agrícolas utilizadas,

como adubação verde, rotação e/ou consorciação de culturas, adubação orgânica e manutenção dos resíduos vegetais em superfície.

Dessa maneira, é possível inferir que o sistema de integração lavoura-pecuária, realizado com a sequência de rotação de culturas estabelecida, considerando sua frequência, associadas ao histórico e tempo de uso de cada área, podem estar influenciando as diferenças encontradas, pois a textura do solo é a mesma em todas as áreas.

Quadro 15. Valores médios de matéria orgânica associada à fração mineral ( $\text{g kg}^{-1}$ ) em diferentes profundidades.

Profundidade (cm)	Matéria orgânica associada a minerais (MOM) $\text{g kg}^{-1}$
0 - 5	26,54 A
5 - 10	22,17 B
10 - 15	19,05 C
15 - 20	17,29 C

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Os teores de carbono orgânico total também não apresentaram interação significativa entre os sistemas e as profundidades (Quadro 16). No ambiente de mata nativa (M) os teores de carbono orgânico total foram mais elevados quando comparados aos demais sistemas avaliados. O sistema que apresentou os menores teores de carbono orgânico total foi o sistema 5 (S5).

No sistema de integração lavoura-pecuária avaliado, observa-se que cada condição estudada, propicia diferentes quantidades de resíduos orgânicos oriundos de cada cultura e de dejetos animais, conforme o sistema de rotação a que cada área está submetida no tempo. As áreas que apresentam menores quantidades desses resíduos, considerando uma taxa de decomposição semelhante entre elas, controlada por condições bioclimáticas homogêneas, podem ter um aumento em sua decomposição e também na velocidade das reações químicas no solo, com uma mineralização rápida da matéria orgânica do solo (MOS), conduzindo às diferenças entre os teores de carbono orgânico total (COT) conforme cada área.

Quadro 16. Valores médios de carbono orgânico total ( $\text{g kg}^{-1}$ ) em diferentes sistemas.

Tratamentos	Carbono orgânico total $\text{g kg}^{-1}$
M	31,16 A
S3	26,08 B
S4	24,74BC
S1	24,54 BC
S2	24,20 BC
S5	20,05 C

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Todos os sistemas avaliados apresentaram teores mais elevados de carbono na superfície do solo (Quadro 17). Isso ocorre normalmente devido ao grande aporte de resíduos orgânicos encontrados na superfície do solo. Essa concentração diminui na camada de 5 – 10 cm e fica ainda menor nas camadas de 10-15 e 15-20 cm.

Quadro 17. Valores médios de carbono orgânico total em diferentes profundidades.

Profundidade (cm)	Média
0 -5	36,47 A
5 – 10	24,96 B
10 – 15	20,66 C
15 - 20	18,43 C

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Em ambientes tropicais, o processo de degradação dos solos encontra-se intimamente relacionado à dinâmica da matéria orgânica (Feller & Beare, 1997).

A análise de variância para índice de estoque de carbono foi significativa ( $P < 0,05$ ) para manejo, para profundidade e para a interação. Já para labilidade e índice de labilidade a interação entre manejos e profundidades não foi significativa (Quadro 18).

Quadro 18. Resumo da análise de variância para índice de estoque de carbono (IEC), labilidade (LAB) índice de labilidade (IL) em função de diferentes sistemas e profundidades.

Fonte de Variação	Quadrados médios		
	IEC	LAB	IL
Manejo	0,1478*	0,0317*	0,09372 <sup>ns</sup>
Profundidade	0,0933*	0,6792*	1,4681*
Manejo x Profundidade	0,0226*	0,0042 <sup>ns</sup>	0,02277 <sup>ns</sup>
Resíduo	0,01467	0,0038	0,000003
CV (%)	14,83	38,17	35,73

\*Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade, (ns) não significativo.

O índice de estoque de carbono apresenta maiores diferenças entre os sistemas na superfície do solo (Quadro 19), sendo que a maioria dos sistemas tem o mesmo índice de estoque de carbono. São eles: sistema 2 (S2), sistema 3 (S3), sistema 4 (S4) e sistema 5 (S5). O manejo que apresentou o menor índice de estoque de carbono na camada de 0 – 5 cm foi o sistema 1 (S1). Pode-se interpretar dessa situação que o estoque de carbono presente nos sistemas cultivados é menor que o presente na mata. Diversos autores têm ressaltado que a conversão de vegetação nativa em área de produção agrícola pode reduzir drasticamente os teores de MOS, devido ao menor suprimento de resíduos e ao aumento na taxa de decomposição, assim como a elevação nas perdas das camadas superficiais do solo por erosão (Andreux, 1996; Feller & Beare, 1997; Bayer & Mielniczuk, 1997; Christensen, 2001, Carter, 2001).

Quadro 19. Índice de estoque de carbono (IEC) em diferentes sistemas e profundidades.

Profundidade (cm)	Sistemas de sucessão					
	S1	S2	S3	S4	S5	M
	-----%-----					
0-5	0,74	0,90	0,95	0,91	0,80	1,00
	Cc	BCa	Ba	BCa	BCa	Aa
5-10	0,89	0,85	0,98	0,87	0,65	1,00
	Ba	BCa	Aa	Ba	Cb	Aa
10-15	0,86	0,83	0,96	0,87	0,64	1,00
	Aab	Ba	Aa	Aa	Cb	Ab
15-20	0,81	0,75	0,71	0,76	0,60	1,00
	Ab	ABb	ABb	ABb	Bb	Ac

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Silva *et al.* (1994) trabalharam com 220 amostras de três diferentes classes de solo da região do Cerrado cultivados continuamente com soja e utilizando grade pesada. Os autores observaram perdas de MOS em cinco anos de cultivo. As reduções foram de 80% em relação aos teores iniciais para Neossolos Quartzarênicos, 76% para Latossolos Vermelho Amarelos textura média e 41% para Latossolos Vermelho Amarelos argilosos. Entretanto, Freitas *et al.* (2000) não registraram perdas de MOS após 25 anos de cultivo de culturas diversas (hortaliças, arroz, milho e feijão), em um Latossolo Vermelho distrófico. Roscoe & Buurman (2003), também em um Latossolo Vermelho distrófico muito argiloso, observaram estoques de carbono similares em áreas de vegetação nativa de cerrado e cultivadas com milho e feijão em sucessão por 30 anos.

Os valores de labilidade não tiveram interação significativa para manejos e profundidades.

Os valores de labilidade foram maiores na mata, não havendo diferença significativa para os demais sistemas estudados (Quadro 20). Este fato sugere que parte do carbono particulado que havia no solo nas condições originais foi degradada durante a interferência antrópica na remoção da mata e instalação de agroecossistemas. Como a MOaM é, normalmente, menos modificada pelas diferentes formas de manejo utilizadas, principalmente a curto prazo (Bayer *et al.*, 2004), é natural que na mata sejam encontrados os maiores valores médios de labilidade.

Quadro 20. Valores médios de labilidade em diferentes sistemas de sucessão.

Tratamentos	Labilidade média
M	0,24 A
S4	0,17 B
S3	0,16 B
S1	0,15 B
S2	0,13 B
S5	0,13 B

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

A labilidade é maior na superfície do solo para todos os sistemas (Quadro 21), diminuindo com a profundidade, e seu menor valor é encontrado na camada de 15 – 20 cm. A camada mais superficial é a mais influenciada pelo manejo adotado, no que diz respeito ao aporte de material orgânico, especialmente em sistema de plantio direto, onde se espera o mínimo de perturbação do solo. Dessa forma, nas camadas mais profundas, a matéria orgânica associada aos minerais tem ciclagem mais lenta, no que se refere a sua formação e decomposição, sendo necessários longos períodos de tempo para sua alteração. Além disso, a sua proteção dentro dos microagregados menores que 0,053 mm, altamente estáveis, impede a ação da biota decompositora (Bayer *et al.*, 2004), favorecendo a menor labilidade do carbono orgânico nessas camadas.

Em alguns solos brasileiros, estudos têm mostrado que as perdas acentuadas de carbono com o desmatamento e cultivo dos solos são acompanhadas pelo consumo de frações orgânicas de maior labilidade, o que implica em aumento do já elevado grau de aromaticidade da MOS (Silva *et al.*, 1994, 1999).

Quadro 21. Valores médios de labilidade em quatro profundidades.

Profundidade (cm)	Labilidade média
0 -5	0,39 A
5 - 10	0,12 B
10 - 15	0,08 BC
15 - 20	0,06 C

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

O índice de labilidade é maior na superfície do solo quando analisamos todos os sistemas juntos (Quadro 22), e tende a diminuir com a profundidade do solo, embora não apresente diferença significativa na camada de 5-20 cm.

Quadro 22. Valores médios de índice de labilidade em quatro profundidades.

Profundidade (cm)	Índice de labilidade
0 -5	1,00 A
5 - 10	0,69 B
10 - 15	0,53 B
15 - 20	0,52 B

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

A análise de variância para índice de manejo de carbono foi significativa apenas para profundidade, já para o carbono acumulado foi significativa para manejo, profundidade e para interação entre manejo e profundidade (Quadro 23)

Quadro 23. Resumo da análise de variância para índice de manejo de carbono (IMC) e carbono acumulado (CACUM) em função de diferentes manejos e profundidades.

Fonte de Variação	Quadrados médios	
	IMC	CACUM
Manejo	3036,15 <sup>ns</sup>	6929,48*
Profundidade	1487,96*	48788,17*
Manejo x Profundidade	447,7407 <sup>ns</sup>	1174,07*
Resíduo	1382,304	641,26
CV (%)	42,33	13,031

\*Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade, (ns) não significativo.

O índice de manejo de carbono apresentou o maior valor médio na camada de 0 - 5 cm, valor esse que foi superior aos encontrados nas demais camadas, os quais não diferiram entre si (Quadro 24). Observa-se que o IMC, mesmo na profundidade de 0- 5 cm, foi inferior a 100, demonstrando que o manejo adotado nesses sistemas não está



sendo suficiente para aumentar a capacidade de preservação e recuperação dos teores e/ou da qualidade das frações orgânicas presentes na área estudada.

É preciso considerar o fato de que as proporções de C-lábil/C-não lábil e, por conseguinte, o IMC, mostram-se dependentes do clima e do tipo de solo analisados e que o cálculo do IMC requer ajustes para diferentes tipos de solo e se mostra dependente do método utilizado para determinar os teores de C, em cada fração da MOS (Shang & Tiessen, 1997). Além disso, os padrões de distribuição e os pesos dos teores de C e dos compartimentos ligados à composição química da matéria orgânica do solo, no cálculo do IMC, podem variar de um local sob cultivo para outro e não refletir os padrões observados em áreas sob vegetação natural, que, quase sempre, é a condição que propicia maior funcionalidade da matriz-solo (Rangel, 2008).

Quadro 24. Valores médios de índice de manejo de carbono (IMC) em quatro profundidades.

Profundidade (cm)	Índice de manejo de carbono
0 -5	92,82 A
5 - 10	60,31 B
10 - 15	44,57 B
15 - 20	38,23 B

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Os valores de carbono acumulado são apresentados no Quadro 25. O carbono acumulado foi maior nos sistemas 2 e 3 (S2) e (S3), seguidos da mata (M), e essa tendência segue até a camada de 15-20 cm. A diferença de acúmulo de carbono torna-se menos acentuada conforme descemos no perfil do solo.

Se considerarmos as quatro camadas de solo junto verificamos que não houve diferença significativa entre os sistemas avaliados, com exceção apenas para o sistema 5 (S5) que apresentou menor acúmulo de carbono que os outros.

Quadro 25. Valores médios de carbono acumulado em diferentes sistemas e profundidades.

Profundidade (cm)	Sistemas de sucessão					
	S1	S2	S3	S4	S5	M
	-----g.dm <sup>-3</sup> -----					
0-5	21,74 Ba	27,53 Aa	25,30 Aa	21,37 Ba	17,98 Ca	21,44 Ba
5-10	17,91 ABb	18,33 ABb	20,00 Ab	16,90 Bb	14,18 Cb	19,72 ABb
10-15	14,91 Ac	15,45 Ac	16,51 Ac	15,69 Abc	11,44 Bc	15,52 Ac
15-20	14,59 Ac	14,34 Ac	12,48 ABd	14,43 Ac	11,13 Bc	13,44 ABd
total	69,16A	75,670A	74,312A	64,802A	54,785B	70,138A

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Corazza *et al.* (1999) estudando o comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado concluíram que em relação ao sistema natural, a acumulação de carbono foi maior nos sistemas sem perturbação do solo (plantio direto, pastagem cultivada e reflorestamento com eucalipto) e menor nos sistemas perturbados (arado de discos e grade pesada), que atuaram como depósito ou fonte de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, respectivamente.

Segundo Rangel *et al.* (2008), as reduções nos estoques de C e as mudanças na composição da matéria orgânica comprometem a sustentabilidade dos agroecossistemas, uma vez que a maior disponibilidade, no solo, de compostos orgânicos pode aumentar a CTC (Bayer & Bertol, 1999), a atividade microbiana (Scherer *et al.*, 2007), diminuir os efeitos negativos do alumínio tóxico (Ciotta *et al.*, 2002) e reduzir a adsorção de grupamentos fosfatos aos colóides dos solos (Guertal *et al.*, 1991).

No Quadro 26 são apresentados os coeficientes de correlação simples entre os atributos físicos do solo e os indicadores relacionados com a matéria orgânica do solo estudado e índices derivados. Podemos verificar uma correlação negativa entre a densidade do solo e todos os índices relacionados à matéria orgânica do solo, evidenciando que à medida que aumentam os teores de matéria orgânica do solo e a sua qualidade, os valores de densidade diminuem. O índice que apresentou maior coeficiente de correlação com densidade do solo foi o Índice de Labilidade (IL) e a menor correlação foi com o carbono acumulado (CACUM).

Quadro 26. Tabela de correlação entre os atributos físicos e o fracionamento de matéria orgânica do solo.

	MOP	MOM	CT	IEC	LAB	IL	IMC	CACUM
DS	-0,7143**	-0,6731**	-0,7223**	-0,5980**	-0,7241**	-0,8396**	-0,8042**	-0,3111 <sup>ns</sup>
MACRO	0,6184**	0,5800**	0,6238**	0,4804**	0,6527**	0,7365**	0,6795**	0,2085**
MICRO	-0,2118 <sup>ns</sup>	-0,2060 <sup>ns</sup>	-0,2176 <sup>ns</sup>	-0,1565 <sup>ns</sup>	-0,2538 <sup>ns</sup>	0,3161 <sup>ns</sup>	0,2586 <sup>ns</sup>	0,0443 <sup>ns</sup>
PT	0,6400**	0,5975**	0,6441**	0,5002**	0,6641**	0,7384**	0,6935**	0,2258 <sup>ns</sup>
DMG	0,5424*	0,6892**	0,6453**	0,5987**	0,5578*	0,6668**	0,6487**	0,5826**
DMP	0,5648**	0,7263**	0,6766**	0,6390**	0,5732**	0,6946**	0,6806**	0,6402**
>1mm	0,5786**	0,7528**	0,6979**	0,6564**	0,5874**	0,7063**	0,6913**	0,6700**
<1mm	-0,5786**	-0,7528**	-0,6979**	-0,6564**	-0,5874**	-0,7063**	-0,6913**	-0,6700**

\*\*significativo a 1% de probabilidade pelo teste t, \*significativo a 5% de probabilidade pelo teste t, <sup>ns</sup> não significativo.

Os valores de macroporosidade (MACRO) e porosidade total (PT) apresentaram correlação positiva com os teores e índices relacionados a matéria orgânica (MOP, MOM, CT, IEC, LAB, IL, IMC e CACUM), sendo que para porosidade total (PT) e carbono acumulado (CACUM) a correlação foi não significativa.

Não houve correlação significativa entre os valores de microporosidade e os indicadores relacionados aos teores de matéria orgânica. A teoria de formação de microagregados apresentada por Edwards & Bremmer (1967) trás a proposta que os microagregados se formam de reações entre moléculas orgânicas na presença de cátions polivalentes de ação floculante e as partículas de argila. Da mesma forma, Vitorino *et al.* (2003) estudando a estabilidade de agregados do tamanho de silte, relatam a importância de compostos de alumínio e da mineralogia da fração argila na formação desses agregados. Portanto, os dados obtidos nesse trabalho estão de acordo com estes estudos que conferem pequena importância da matéria orgânica na formação e estabilidade de microagregados.

Os valores de diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP) e agregados maiores que 1mm (>1mm) apresentaram valores de correlação positivos com os teores e índices de matéria orgânica do solo (MOP, MOM, CT, IEC, LAB, IL, IMC e CACUM). Macroagregados formados por processos físicos, por meio de operações mecânicas e equipamentos ou pelo pisoteio de animais, podem não ser estáveis. Contudo, os fatores que conferem maior estabilidade aos agregados são os agentes cimentantes ligados a aspectos biológicos, como a atividade microbiana, liberação de exsudados de raízes, crescimento e funcionamento de raízes, crescimento e morte de tecidos, entre outros (Salton *et al.*, 2008). Esses autores relatam ainda a importância das relações entre o DMP e o estoque de carbono orgânico do solo, concordando com a citação de Christensen (2001) de que além das interações entre

minerais, a interação destes com a matéria orgânica afeta intensamente o tamanho dos agregados estáveis em água.

Para Wendling *et al.* (2005) a estabilidade de agregados expressa por diversos índices apresentou correlações significativas e positivas com o carbono orgânico do solo.

## CONCLUSÕES

- O sistema de integração lavoura pecuária promove alteração nos atributos físicos do solo, sendo que os efeitos dos diferentes sistemas se manifestam principalmente na camada mais superficial do solo.
- O manejo adotado, que considera a integração lavoura pecuária, com as sucessões descritas, permite manter teores de carbono no solo iguais aos encontrados no ambiente de mata original.
- Mesmo quando se utiliza a cultura do algodão na sucessão, que se cultivada em monocultura geralmente atua como fonte de carbono para a atmosfera, verifica-se que existe um mecanismo de recomposição dos níveis de carbono no solo que é promovido pelos demais cultivos participantes do sistema de sucessão avaliado.
- Os teores de carbono acumulado comprovam ainda, que os manejos adotados são tão eficientes quanto o ambiente de referência (M), sendo um importante indicativo da sustentabilidade do sistema com relação à conservação do solo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREAUX, F. Humus in world soils. In: PICOLO, A. (Ed.) **Humic substances in terrestrial ecosystems**. Amsterdam: Elsevier, p. 45-100, 1996.

ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; WILDNER, L. P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **R. Bras. Ci. Solo**, **29**: 425-435, 2005.

ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Distroférrico cultivado e sob mata nativa. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 28: 337-345, 2004.

AZEVEDO, A. C. & SCHULZE, D. G. Aggregate distribution, stability and release of water dispersible clay for two subtropical Oxisols. **Scientia Agricola**, v.64, n.1, p. 36-43, 2007.

BAYER, C.; MARTIN NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesq. Agrop. Bras.**, v.39 (7): 677-683, 2004.

BAYER, C.; BERTOL, I. Características químicas de um Cambissolo húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. **Rev. Bras. Ci. do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 687-694, 1999.

BAYER, C. & MIELCNIZUCK, J. Características químicas do solo afetads por métodos de preparo e sistemas de cultura. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 21, p. 105-112, 1997.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JR., W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **R. Bras. Ci. Solo**, **28**: 155-163, 2004.

BERTOL, I. et al. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem numa pastagem natural. **Pesq. Agropec Bras.**, Brasília, v.32, p 1-10, 1997.

- BERTOL, I.; ALMEIDA, J.A.de; ALMEIDA, E.X.de; KURTZ, C. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem de Capim-Elefante-Anão CV Mott. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília. vol.35, n.5, p. 1047-1054. 2000.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; FREDDI, O. S.; ANDRIOLLI, I. Efeito da compactação do solo na estabilidade de agregados e no conteúdo gravimétrico de água. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.27, n.2, p. 193-198, 2005.
- BLAIR, G. J.; LEFROY, R. D. B.; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v. 46, p. 1459-1466, 1995.
- BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; REINERT, D. J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio proctor. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 30: 605-614, 2006.
- CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Estabilidade de agregados do solo após manejo com rotação de culturas e escarificação. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 32, n.4, p.1399-1407, 2008.
- CAMBARDELLA, C. A. & ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic-mater changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 56: 777-783, 1992.
- CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; NICOLODI, R.; CASSOL, L. C. Dinâmica da agregação induzida pelo uso de plantas de inverno para cobertura do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 23, p. 383-391, 1999.
- CANELLAS, L. P.; BERNER, P. G.; SILVA, S. G.; SILVA, M. B.; SANTOS, G. A. Frações da matéria orgânica em seis solos de uma toposseqüencia no estado do Rio de Janeiro. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 35, n.1, p. 133-143, 2000.
- CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, 33:147-157, 2009.
- CARTER, M.R.; ANGERS, D.A. & TOPP, G.C. Characterizing equilibrium physical condition near the surface of a fine sandy loam under conservation tillage in a humid climate. **Soil Sci.**, v.164, p.101-110, 1999.
- CARTER, M. R. **Organic matter and sustainability**. In: REES, R. M.; BALL, B. C.; CAMPBELL, C. D.; WATSON, C. A. (Ed.) Sustainable management of soil organic matter. New York: CABI, p. 9-22, 2001
- CARTER, M.R. & STEWART, B.A. **Structure and organic matter storage in agricultural soils**. Boca Raton, CRC Press, 1996. 472p.
- CASSOL, E. A.; CANTALICE, J. R. B.; REICHERT, J. M.; MONDARDO, A. Escoamento superficial e desagregação do solo em entressulcos em solo franco-argilo-arenoso com resíduos vegetais. **Pesq. Agropec. Bras.**, v.39, n.7, p. 685-690, 2004.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **R. Bras. Ci. Solo**, v.22, p. 527-538, 1998.

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; FONTOURA, S. M. V.; ALBUQUERQUE, J. A.; WOBETO, C. Acidificação de um latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 1055-1064, 2002.

CLAESSEN, **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

CONCEIÇÃO, P.C. et al. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.29, n.5, p.777-788, 2005.

CORAZZA, E. J.; SILVA, J. E.; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 23, p. 425-432, 1999.

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C; FONTOURA, S. M. V.; WOBERTO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **R. Bras. Ci. Solo**, v.27, p.527-535, 2003.

CHRISTENSEN, B. T. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 52, p. 345-353, 2001.

DAO, T. H. Tillage system and crop residue effects on surface compaction of a paleustol. **Agronomy Journal**, v.88,p.141-148, 1996.

DE BONA, F. D.; BAYER, C.; BERGAMASCHI, H.; DIECKOW, J. Carbono orgânico no solo em sistemas irrigados por aspersão sob plantio direto e preparo convencional. **R. Bras. Ci Solo**, **30**: 911-920, 2006.

DORAN, J.W. Soil quality and sustainability. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. Anais. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. CD-ROM.

DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, SSSA, 1994. p.1-20. (Special, 35)

EDWARDS, A.P.; BREMNER, J.M. Dispersion of soil particles by sonic vibration. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.18, n.1, p.47-63, Mar. 1967.

EMRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. Ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.



- FELLER, C.; BEARE, N. H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, Amsterdam, v.79, p. 69-116, 1997.
- FERREIRA, F. P.; AZEVEDO, A. C.; DALMOLIN, R. S. D.; GIRELLI, D. Carbono orgânico, óxidos de ferro e distribuição de agregados em dois solos derivados de basalto no Rio Grande do Sul – Brasil. **Ciência Rural**, v.37, n.2, p. 381-388, 2007.
- FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da região Sudeste do Brasil. **R. Bras. Ci. Solo**, v.23, p.515-524, 1999.
- FENG, G.; WU, L.; LETEY, J. Evaluating aeration criteria by simultaneous measurement of oxygen diffusion rate and soil-water regime. **Soil Science**, v. 167, n.8, p. 495-503, 2002.
- FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da região Sudeste do Brasil. **R. Bras. Ci. Solo**, v.23, p.515-524, 1999.
- FLORES, J.P.C.; ANGHINONI, I.; CASSOL, L.C.; CARVALHO, P.C.F.; LEITE, J.G.B. & FRAGA, T.I. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.31, p.771-780, 2007.
- FLOSS, E. L. Cobertura de inverno visando alto rendimento de culturas de verão. In: Encontro Regional de Plantio Direto, 2. Ijuí, 2000. Resumos... Passo Fundo 2000, p. 29-43.
- FRANZLUEBBERS, A.J. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. **Soil Till. Res.**, 66:95- 106, 2002.
- FREDDI, O. da S.; CENTURION, J.F.; BEUTLER, A.N.; ARATANI, R.G.; LEONEL, C.L. Compactação do solo no crescimento radicular e produtividade da cultura do milho. **R. Bras. Ci. Solo**, v.31, n.4, p.627-636, 2007.
- FREITAS, P. L.; BLANCANEAU, P.; GAVINELLI, E.; LARRE-LARROUY, M. C.; FELLER, C. Nível e natureza do estoque orgânico de latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, DF, v. 35, p. 157-170, 2000.
- GUERTAL, E. A.; ECKERT, D. J.; TRAINA, S. J.; LOGAN, T. J. Differential phosphorus retention in soil profiles under no-till crop production. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 55, p. 410-413, 1991.
- GUIMARÃES, C. M.; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura do arroz de terras altas. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.36, n.4, p. 703-707, 2001.
- HERRICK, J.E. & WANDER, M.M. Relationships between soil organic carbon and soil quality in cropped and rangeland soils: The importance of distribution, composition, and soil biological activity. In: LAL, R.; KIMBLE, J.M.; FOLLET, R.F. & STEWART, B.A., eds. Soil processes and the carbon cycle. Boca Raton, CRC Press, p.405-425, 1998.

JANTALIA, C. P.; SANTOS, H. P.; DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Influência de rotações de culturas no estoque de carbono e nitrogênio do solo sob plantio direto e preparo convencional. **Agronomia**, v.37, n.2, p. 91-97, 2003.

KARLEN, D.L.; MAUSBACH, M.J.; DORAN, J.W.; CLINE, R.G.; HARRIS, R.F. & SCHUMAN, G.E. Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.61, p.4-10, 1997.

KARLEN, D.L.; EASH, N.S. & UNGER, P.W. Soil and crop management effects on soil quality indicators. **Am. J. Altern. Agric.**, v.7, p.48-55, 1992.

KEMPER, W. D. & ROSENAU, R. C. Aggregate Stability and Size Distribution. In: Klute, A. (ed) *Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods.* ed II. Madison: Wisconsin, 1986.

KONDO, M.K. Compressibilidade de três latossolos sob diferentes usos. Lavras: UFLA, 1998. 95p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, 1998.

KUSHWAHA, C. P.; TRIPATHI, S. K.; SINGH, K. P. Soil organic matter and water-stable aggregates under different tillage and residue conditions in tropical dryland agroecosystem. **Applied Soil Ecology**, 16: 129-241, 2001.

LAL, R. Residue management, conservation tillage and restoration for mitigating greenhouse effect by CO<sub>2</sub>- enrichment. **Soil Till. Res.**, v.43,p.81-107, 1997.

LAL, R. & PIERCE, F.J. The vanishing resource. In: LAL, R. & PIERCE, F.J., eds. *Soil management for sustainability.* Ankeny, Soil Water Conservation Society, p.1-5, 1991.

LARSON, W.E. & PIERCE, F.J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. *Defining soil quality for a sustainable environment.* Madison, SSSA, p.37-51, (Special, 35), 1994.

LIU, A.; MA, B. L.; BOMKE, A. A. Effects of cover crops on soil aggregate stability, total organic carbon, and polysaccharides. *Soil Sci. Soc. of Am. Journal*, v. 69, p. 2041-2048, 2005.

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

MIELNICZUK, J. Importância do estudo de raízes no desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis. In: *WORKSHOP SOBRE SISTEMA RADICULAR: metodologias e estudo de caso*, 1999, Aracaju, SE. **Anais**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 1999. p.13-17.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F.F. & DEBARBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S. & ALVAREZ V., V.H., eds. *Tópicos ciência do solo.* Viçosa, MG, Sociedade

Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v.3. p.209-248.

MONREAL, C.M.; DINEL, H.; SCHNITZER, M. & GAMBLE, D.S. Impact of carbon sequestration on functional indicators of soil quality as influenced by management in sustainable agriculture. In: LAL, R.; KIMBLE, J.M.; FOLLET, R.F. & STEWART, B.A., eds. Soil processes and the carbon cycle. Boca Raton, CRC Press, 1998. p.435-457.

MORAES, A.; PELISSARI, A.; ALVES, S.J.; CARVALHO, P.C.F. & CASSOL, L.C. Integração lavoura-pecuária no sul do Brasil. In: ENCONTRO DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO SUL DO BRASIL, 1., Pato Branco, 2002. Trabalho apresentado. Pato Branco, 2002. p.3-42.

NICOLOSSO, R.; LOVATO, T.; CARNEIRO, T. J. A.; BAYER, C.; LANZANOVA, M. E. Balanço do carbono orgânico no solo sob integração lavoura-pecuária no sul do Brasil. **R. Bras. Ci. Solo**, 32:2425-2433, 2008

NICOLOSSO, R.S. Dinâmica da matéria orgânica do solo em áreas de integração lavoura-pecuária sob sistema de plantio direto. 2005. 150f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria.

OLIVEIRA, G.C. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de manejo por 20 anos no cerrado. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2002. 78p. (Tese de Doutorado)

PAGLIAI, M.; MARSILI, A.; SERVADIO, P.; VIGNOZZI, N.; PELLEGRINI, S. Changes in some physical properties of a clay soil in central Italy following the passage of rubber tracked and wheeled tractors of medium Power. **Soil & tillage research**, v.73, n. 1-2, p. 119-129, 2003.

PANACHUKI, E.; ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A. C. T.; CARVALHO, D. F.; URCHEI, M. Parâmetros físicos do solo e erosão hídrica sob chuva simulada, em área de integração agricultura-pecuária. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.10, n.2, p.261-268, 2006.

PEDROTTI, A.; FERREIRA, M. M.; CURI, N.; SILVA, M. L. N.; LIMA, J. M.; CARVALHO, R. Relação entre atributos físicos, mineralogia da fração argila e formas de alumínio no solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 27, p. 1-9, 2003.

PULLEMAN, M.M.; BOUMA, J.; van ESSEN, E.A. & MEIJLES, E.W. Soil organic matter content as a function of different land use history. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.64, p.689-693, 2000.

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

REEVES, D.W. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. **Soil Till. Res.**, v.43, p.131-167, 1997.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SILVA, V. R. Propriedades físicas de solos em sistema plantio direto irrigado. In: CARLESSO, R.; PETRY, M. T.; ROSA, G. M.; CERETTA, C. A., ed. Irrigação por Aspersão no Rio Grande do Sul. Santa Maria, 2001. p. 114-133.

ROSA, M. E. C.; OLSZEWSKI, N.; MENDONÇA, E. S.; COSTA, L. M.; CORREIA, J. R. Formas de carbono em Latossolo Vermelho Eutroférico sob plantio direto no sistema biogeográfico do cerrado. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 27, p. 911-923, 2003.

ROSCOE, R. Dinâmica da matéria orgânica de solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares/ Editores: Renato Roscoe, Fábio Martins Mercante, Júlio César Salton. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste. 304 p., 2006

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

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

ROSOLEM, C. A.; FERNANDEZ, E. M.; ANDREOTTI, M.; CRUSCIOL, C. A. C. Crescimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 34, n.5, p.821-828, 1999.

SÁ, M. A. C.; LIMA, J. M.; SILVA, M. L. N.; DIAS JUNIOR, M. S. Comparação entre métodos para o estudo da estabilidade de agregados em solos. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 35, n.9, p.1825-1834, 2000.

SANTI, A.; AMADO, T. J. C.; ACOSTA, J. A. A. Adubação nitrogenada na aveia preta. I- Influência na produção de matéria seca e ciclagem de nutrientes sob sistema plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 27, p.1075-1083, 2003.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C.; CARVALHO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul **R. Bras. Ci. Solo**, 32:11-21, 2008

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRICIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C. Matéria orgânica do solo na integração lavoura-pecuária em Mato Grosso do Sul. Dourados: Embrapa Agropec. Oeste, 2005. 58 p.

SEYBOLD, C.A.; MAUSBACH, M.J.; KARLEN, D.L. & ROGERS, H.H. Quantification of soil quality. In: LAL, R.; KIMBLE, J.M.; FOLLET, R.F. & STEWART, B.A., eds. Soil processes and the carbon cycle. Boca Raton, CRC Press, 1998. p.387-404.

SCHERER, E. E.; BALDISSERA, I. T.; NESI, C. N. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho sob plantio direto e adubação com esterco de suínos. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 31, n. 1, p. 123-131, 2007

SCHULZE, D.G.; STOTT, D.E. Soil structure alteration: the role of soil mineralogy,

chemistry and microbiology. In: Congresso brasileiro de ciência do solo, 1997, Viçosa. Anais... Campinas : Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. (CD ROM).

SERAFIM, M.E.; VITORINO, A.C.T.; PEIXOTO, P.P.P.; SOUZA, C.M.A.; CARVALHO, D.F. Intervalo Hídrico Ótimo em um Latossolo Vermelho Distroférico sob diferentes sistemas de produção. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.4, p.654-665,2008

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

SHEATH, G.W., CARLSON, W.T. Impact of cattle treading on hill land 1. Soil damage patterns and pasture status. **N. Z. J. Agric. Res.**, 41:271-278, 1998.

SHUKLA, M.K.; LAL, R. & EBINGER, M. Determining soil quality indicators by factor analysis. **Soil Till. Res.**, 87:194- 204, 2006.

SILVA, V. L.; NICOLOSO, RODRIGO DA S.; LOVATO, T.; LANZANOVA, M. E.; GIRARDELLO.; BRAGAGNOLO, J.; DIECKOW, J. Qualidade do solo areas de integração lavoura-pecuária. XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. **Resumos...** Gramado, RS, 2007.

SILVA, F. A. M.; PINTO, H. S.; SCOPEL, E.; CORBEELS, M.; AFFHOLDER, F. Dinâmica da água nas palhadas de milho, milho e soja utilizadas em plantio direto. In: **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 41, n.5, p.717-724, 2006.

SILVA, M.L N; FERREIRA, M.,M. Atributos físicos indicadores da qualidade do solo sob sistemas de manejo na bacia do alto do Rio Grande-MG. **Ciênc. agrotec.**, vol.29, n.4, p. 719-730, 2005

SILVA, V.R.; REINERT, D.J. & REICHERT, J.M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.24, p.191-199, 2000.

SILVA, J. E.; LEMAINSKI, J.; RESCK, D. V. S. Perdas de material orgânico e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de cerrados do oeste baiano. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 18, p. 541-547, 1994.

SINGLETON, P.L., ADDISON, B. Effects of cattle treading on physical properties of three soils used for dairy farming in the waikato, north island, new zealand. **Aust. J. Soil Res.**, 37:891-902. 1999.

SIQUEIRA JÚNIOR, L. A. de. Alterações de características do solo na implantação de um sistema de integração agricultura-pecuária leiteira. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005 (Dissertação de mestrado).

SOUZA, D.M.G.;MIRANDA, L.N., LOBATO,E. Avaliação dos métodos de determinação da necessidade de calcário em solo de cerrado. Planaltina; EMBRAPA , CT 27, 14p., 1998.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Integração lavoura-

pecuária e os atributos físicos do solo manejado sob sistema plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 33, p. 129-136., 2009.

STONE, L. F. & GUIMARÃES, C. M. Influência de sistemas de rotação de culturas nos atributos físicos do solo. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. 15p.

TEIXEIRA, C. F.A.; PAULETTO, E. A.; SILVA, J. B. Resistência mecânica à penetração de um argissolo amarelo distrofico típico sob diferentes sistemas de produção em plantio direto. **Ciência Rural**, v.33, n.6, p.1165-1167, 2003.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma revisão sobre qualidade do solo. **R. Bras. Ci. Solo**. v.33, p. 743-755, 2009.

VEZZANI, F. M. Qualidade do sistema solo na produção agrícola. Porto Alegre, 2001. 184 f. **Tese (Doutorado em Ciência do Solo)** – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001

VITORINO, A. C. T.; FERREIRA, M. M.; CURI, N.; LIMA, J. M.; SILVA, M. L. N.; MOTTA, P. E. F. Mineralogia, química e estabilidade de agregados do tamanho de silte de solos da Região Sudeste do Brasil. **Pesq. Agropec. Bras.**, v.38, n.1, p. 133-141, 2003.

WARREM et AL., 1986... WARREN, S.D., NEVILL, M.B., BLACBURN., GARZA, N.E. Soil response to trampling under intensive rotation grazing. **Soil sci. Soc. Am. J.** 50:1336-1341, 1986.

WENDLING, B; JUCKSCH, I; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesq. Agropec. Bras.**, v.40, n.5, p. 487-494, 2005.

WILLIAMS, S. M. & WEIL, R.R. Crop Cover Root Channels May Alleviate Soil Compaction Effects on Soybean Crop. **Soil Science Society of America**, v.68, p.1403-1409. 2004.

WOHLENBERG, E. V.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. **R. Bras. Ci. Solo**, v.28, p.891-900, 2004.

XU, X.; NIEBER, J. L.; GUPTA, S. C. Compaction effect on the gas diffusion coefficient in soils. **Soil Science Society American Journal**, v.56, p.1743-1750, 1992.