

CLÉRIO HICKMANN

**EFEITOS DO MANEJO EM PROPRIEDADES FÍSICAS E NO CARBONO
ORGÂNICO TOTAL DE UM ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO
LOCALIZADO NA ZONA DA MATA MINEIRA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2009

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

H628e
2009

Hickmann, Clério, 1979-

Efeitos do manejo em propriedades físicas e no carbono orgânico total de um argissolo vermelho-amarelo localizado na Zona da Mata Mineira / Clério Hickmann. – Viçosa, MG, 2009.

xii, 74f.: il. (algumas col.) ; 29cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Liovando Marciano da Costa.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 65-67

1. Solos - Uso. 2. Solos - Manejo. 3. Plantio direto.
4. Física do solo. 5. Solos - Teor de carbono. 6. Solos -
Micromorfologia. I. Universidade Federal de Viçosa.
II. Título.

CDD 22.ed. 631.4

CLÉRIO HICKMANN

**EFEITOS DO MANEJO EM PROPRIEDADES FÍSICAS E NO CARBONO
ORGANICO TOTAL DE UM ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO
LOCALIZADO NA ZONA DA MATA MINEIRA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 24 de abril de 2009.



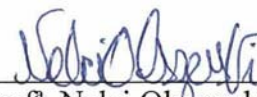
Prof. Carlos Ernesto G. R. Schaefer
(Coorientador)



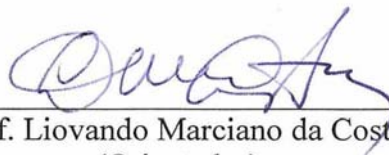
Prof. Caetano Marciano de Souza
(Coorientador)



Prof. Elpidio Inácio Fernandes Filho



Profª. Nelci Olszewski



Prof. Liovando Marciano da Costa
(Orientador)

Aos meus pais, Ornélio Luiz

e Iria Teresinha Hickmann

dedico

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus por proporcionar esta oportunidade e por ter me concedido força de vontade para realizar este trabalho.

Aos meus familiares, em especial aos meus pais, Ornélio Luiz Hickmann e Iria Teresinha Hickmann, que me educaram para que soubesse atribuir os devidos valores às conquistas.

A Universidade Federal de Viçosa, representada pelos professores e funcionários que colaboraram para a formação pessoal do corpo discente. Principalmente ao Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, por me conceder a oportunidade de realização desse curso.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais, Fapemig, pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Prof. Liovando Marciano da Costa, não somente pela excelente orientação, mas pelo incentivo, amizade e confiança.

Ao Prof. Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer, pela coorientação, amizade, confiança, dedicação e, em especial pelo incentivo e crédito depositado durante o desenvolvimento do trabalho.

Ao prof. Raphael Bragança Alves Fernandes, pela coorientação, confiança e disponibilidade, contribuindo e auxiliando no desenvolvimento deste trabalho.

Ao prof. Caetano Marciano de Souza, pela coorientação, confiança e por ceder a área de estudo.

Ao Prof. Elpídio Inácio Fernandes Filho, pela disponibilidade e conselhos prestados durante o trabalho.

Aos laboratoristas Cláudio, Benedito, Fábio e Carlos; as secretárias Luciana, Sônia e Cláudia, pela colaboração e amizade.

Aos professores com os quais tive a oportunidade de cursar disciplinas, pelos conhecimentos transmitidos.

E a todos que, de alguma forma, tiveram contribuição na realização deste trabalho e, em minha formação, expressei meus sinceros agradecimentos.

BIOGRAFIA

CLÉRIO HICKMANN, filho de Ornélio Luiz e Iria Teresinha Hickmann, nascido aos 18 dias do mês de janeiro de 1979, em Itapiranga, SC.

Em 1998 formou-se no ensino médio pelo Colégio Estadual Pe. Teodoro Treis, La Cristo Rei, São João do Oeste, SC.

Em Março de 2007 graduou-se em Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS.

Em março de 2007 ingressou no mestrado do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, vinculado ao Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, vindo a defender o título de *Magister Scientiae* em abril de 2009.

SUMÁRIO

RESUMO.....	x
ABSTRACT.....	xii
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	4
CAPÍTULO 1	6
PROPRIEDADES FÍSICO-HÍDRICAS DE UM ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO COM DIFERENTES MANEJOS, LOCALIZADO NA ZONA DA MATA MINEIRA	
1. INTRODUÇÃO.....	6
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	10
2.1. Localização e descrição da área de estudo.....	10
2.2. Procedimento experimental e tratamentos.....	11
2.3. Amostragem de solo.....	12
2.4. Caracterização química do solo.....	13
2.5. Análises físicas e químicas.....	14
2.5.1. Composição granulométrica, argila dispersa na água, densidade de partículas e grau de flocculação.....	14
2.5.2. Densidade do solo.....	14
2.5.3. Porosidade total, macro e microporosidade.....	14
2.5.4. Condutividade hidráulica do solo em meio saturado.....	15
2.5.5. Estabilidade de agregados.....	16
2.5.6. Carbono orgânico total.....	17
2.5.7. Análise micromorfológica.....	17
2.6. Análise estatística.....	19
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
3.1. Composição granulométrica, argila dispersa em água, grau de flocculação e densidade da partícula do solo em diferentes sistemas de manejo.....	20
3.2. Densidade do solo em diferentes sistemas de manejo.....	21
3.3. Porosidade total, macro e microporosidade do solo em diferentes sistemas de manejo.....	23
3.4. Carbono orgânico total e estabilidade de agregados em diferentes sistemas de manejo.....	26
3.5. Condutividade hidráulica do solo em meio saturado em diferentes sistemas de manejo.....	30
3.6. Correlações estabelecidas entre as propriedades físicas e o carbono orgânico total em diferentes sistemas de manejo.....	32
3.7. Análise micromorfológica do solo em diferentes sistemas de manejo.....	35

4. CONCLUSÕES.....	38
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39
CAPÍTULO 2	43
ESTOQUES E TEORES TOTAIS DE CARBONO ORGÂNICO DE UM ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO COM DIFERENTES MANEJOS, LOCALIZADO NA ZONA DA MATA MINEIRA	
1. INTRODUÇÃO.....	43
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	47
2.1. Localização e descrição da área de estudo.....	47
2.2. Procedimento experimental e tratamentos.....	48
2.3. Amostragem de solo.....	49
2.4. Caracterização química do solo.....	50
2.5. Composição granulométrica, argila dispersa em água, densidade do solo e grau de flocculação.....	51
2.6. Carbono orgânico total e estoque de carbono orgânico.....	51
2.7. Carbono orgânico total em classes de agregados.....	51
2.8. Análise estatística.....	52
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	53
3.1. Características físicas do solo em diferentes sistemas de manejo.....	53
3.2. Teores e estoques totais de carbono no solo em diferentes sistemas de manejo.....	55
3.3. Análise temporal dos estoques de carbono orgânico total do solo em diferentes sistemas de manejo.....	57
3.4. Carbono orgânico total em classes de agregados do solo em diferentes sistemas de manejo.....	62
4. CONCLUSÕES.....	64
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
CONCLUSÕES GERAIS.....	68
APÊNDICES.....	69

RESUMO

HICKMANN, Clério, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, abril de 2009. **Efeitos do manejo em propriedades físicas e no carbono orgânico total de um Argissolo Vermelho-Amarelo localizado na Zona da Mata mineira.** Orientador: Liovando Marciano da Costa. Coorientadores: Carlos Ernesto G. R. Schaefer, Raphael Bragança Alves Fernandes e Caetano Marciano de Souza.

Quando ocorre a substituição de ecossistemas naturais por agroecossistemas, geralmente percebe-se a degradação física e declínio do conteúdo de carbono no solo. Essa degradação pode ser atribuída ao intenso revolvimento do solo durante o preparo, expondo-o à ação de fatores climáticos, provocando erosão, mineralização da matéria orgânica e oxidação de carbono orgânico do solo. A utilização de práticas conservacionistas de manejo do solo tem recebido grande ênfase atualmente, basicamente no que se refere à manutenção e à melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos cultivados e suas implicações no rendimento das culturas. Partindo-se da hipótese de que os sistemas conservacionistas melhoram a qualidade física do solo, o presente trabalho teve como objetivo avaliar as modificações provocadas nas propriedades físicas e no carbono orgânico, em diferentes sistemas de manejo, em um Argissolo Vermelho-Amarelo, submetido a um experimento de longa duração. Para tal foram coletadas amostras de solo nas camadas 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm de profundidade num experimento submetido a quatro tratamentos, a saber: PD (plantio direto); AD (arado de disco); AD+GP (arado de disco+grade pesada) e GP: grade pesada. Uma área sob mata atlântica secundária (MS), adjacente ao experimento, foi amostrada e utilizada como referência, representando o quinto tratamento. Foram avaliados a densidade do solo, densidade da partícula, grau de floculação, argila dispersa em água, granulometria, porosidade, condutividade hidráulica do solo saturado, estabilidade de agregados, carbono orgânico total, estoque de carbono orgânico, carbono orgânico em classes de agregados e análise micromorfológica de agregados. Concluiu-se que: (I) o cultivo do solo aumentou a degradação física, comprovada pela redução da porosidade, da estabilidade de agregados, da condutividade hidráulica em solo saturado e aumento da densidade do solo; (II) os maiores estoques de carbono foram observados no solo da mata atlântica secundária (MS) em comparação ao solo

dos sistemas de manejo; (III) o sistema de manejo conservacionista plantio direto (PD) contribuiu para a melhoria nas propriedades físicas e na recuperação dos estoques de carbono orgânico após aproximadamente 80 anos de práticas agrícolas, (IV) os macroagregados contribuem efetivamente nos estoques de carbono orgânico no solo, mostrando os maiores conteúdos de COT; (V) a análise microestrutural se mostrou sensível entre os sistemas de manejos avaliados, servindo de ferramenta promissora para estudo de agregação do solo.

ABSTRACT

HICKMANN, Clério, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, April 2009. **Effects of management on physical properties and total organic carbon of a Red-Yellow Argisol located in the Zona da Mata of Minas Gerais State.** Advisor: Liovando Marciano da Costa. Co-advisors: Carlos Ernesto G. R. Schaefer, Raphael Bragança Alves Fernandes and Caetano Marciano de Souza.

When the replacement of natural ecosystems for agroecosystems occurs, generally it is perceived a physical deterioration and a decline in soil carbon content. This degradation can be attributed to intensive soil tillage, exposing it to the action of climatic factors, causing erosion, mineralization of organic matter and oxidation of organic carbon in soil. The use of conservation practices for soil management has received much attention nowadays, primarily with regard to the maintenance and improvement of physical, chemical and biological properties of cultivated soils, and its implications in crop yield. Based on the assumption that the conservation systems improve conservation of soil physical quality, this study aimed to evaluate the changes caused in the physical properties and organic carbon, under different management systems, in a Red-Yellow Argisol, subjected to a long term experiment. For this, samples were collected from the soil layers 0-5, 5-10, 10-20 and 20-40 cm in depth in an experiment involving four treatments, as follows: NT (no-tillage), DP (disc plow); DP + HH (disc plow + heavy harrow) and HH (heavy harrow). An area under secondary atlantic forest (SF), adjacent to the experiment, was sampled and used as reference, representing the fifth treatment. It were evaluated the soil bulk density, particle density, flocculation degree, water dispersible clay, granulometry, porosity, saturated soil hydraulic conductivity, aggregate stability, total organic carbon, organic carbon stocks, organic carbon in aggregate classes and micromorphological analysis of aggregates. It was concluded that: (I) cultivation of the soil increased physical degradation, as evidenced by the reduction of porosity, aggregate stability, saturated soil hydraulic conductivity and increased soil bulk density, (II) the largest carbon stocks were observed in the soil of the secondary atlantic forest (SF) when compared to the soil from the management systems, (III) the conservation management system no-tillage (NT) contributed to the improvement in physical properties and the recovery of organic carbon stocks after about 80 years of agricultural practices, (IV) macroagregates contribute effectively in the organic carbon

stocks in soil, showing the highest content of total organic carbon, (V) the microstructural analysis was shown to be sensible among the management systems evaluated, serving as a promising tool for the study of soil aggregation.

INTRODUÇÃO GERAL

O uso, o manejo, o nível e o tempo de utilização promovem alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Com o desmatamento, o solo é exposto à ação direta das gotas de chuva e raios solares, tornando-se fisicamente mais vulnerável, caracterizando assim o início de sua degradação. Diferentes classes de solos respondem de maneira distinta diante desta nova condição. Além disso, solos semelhantes, mas submetidos a diferentes usos e manejos, podem apresentar níveis de degradação diferenciados (WENDLING et al., 2005).

O solo constitui-se de um dos principais fatores de produção, seja pela sua função como suporte para as plantas, ou pelo fornecimento de condições indispensáveis ao seu desenvolvimento, envolvendo água, nutrientes e calor. Entretanto, a demanda por maiores produtividades tem levado, eventualmente, a uma considerável degradação do solo, em decorrência do seu manejo inadequado. No monitoramento da qualidade do solo, os atributos usados como indicadores de mudanças devem ser sensíveis ao manejo numa escala de tempo que permite sua verificação, além da necessidade de estarem incluídos em um banco de dados, como fonte de comparação temporal. Ao longo do tempo, isso permite a determinação de valores críticos bem definidos para as várias situações de solo, clima e sistemas de manejo (DORAN & PARKIN, 1994).

A perda da qualidade do solo, em seus aspectos químicos, físicos e biológicos, provoca a redução de sua capacidade em exercer funções diversas. A diminuição da qualidade química interfere nos teores de fósforo e nitrogênio, na matéria orgânica, na capacidade de troca catiônica e no pH do solo, enquanto que a perda da qualidade biológica produz efeitos negativos na atividade de enzimas no solo, na biomassa microbiana, no quociente metabólico e nas taxas de mineralização do nitrogênio, com implicações diretas sobre desenvolvimento das plantas, assim como nas demais funções (TÓTOLA & BORGES, 2002). Quanto à perda da qualidade física, esta afeta

diretamente o espaço poroso, de forma a prejudicar o fornecimento de água e de oxigênio, limitando o desenvolvimento das plantas e a atividade de organismos no solo.

Mais especificamente, a deterioração da qualidade física do solo implica em condições desfavoráveis de estruturação, com formação de agregados pouco estáveis (CASTRO FILHO et al., 1998), reduzida porosidade, elevada densidade, maior resistência à penetração de raízes (COSTA et al., 2003; BERTOL et al., 2004; ARGENTON et al., 2005) e reduzida capacidade de retenção de umidade (VIEIRA & KLEIN, 2007), resultando em condições que restringem o movimento da água e as trocas gasosas no perfil do solo, influenciando dessa forma diversos processos fundamentais para que o solo exerça suas funções diversas.

A degradação da estrutura afeta o desenvolvimento vegetal e predispõe o solo à erosão hídrica acelerada. O manejo incorreto de máquinas e equipamentos agrícolas leva à formação de uma camada subsuperficial compactada, a qual tem sido apontada como uma das principais causas da degradação estrutural do solo e do decréscimo na produtividade das culturas (PRADO et al., 2002; ARGENTON et al., 2005). Além disso, o revolvimento e o preparo intensivo do solo afetam as taxas metabólicas dos microrganismos nos processos de decomposição dos resíduos vegetais, acelera a decomposição da matéria orgânica, aumenta a liberação de carbono para a atmosfera e contribui para o aquecimento global do planeta (La SCALA Jr. et al., 2006).

A utilização de sistemas de preparo conservacionistas, conceitualmente aqueles que têm pelo menos 30% ou mais da superfície coberta por resíduos culturais, tem tornado-se efetiva estratégia para seqüestro de C-CO₂ (COSTA et al., 2008). Tais sistemas têm como premissa a sustentabilidade do processo produtivo, mantendo ou recuperando os teores de matéria orgânica, revertendo o quadro de degradação das condições físicas, químicas e biológicas do solo, resultantes da utilização de sistemas convencionais de preparo do solo com arado e grade. Entre os sistemas de preparo de solo, o plantio direto é o mais conservacionista, pois, ao contrário dos sistemas que envolvem a aração, gradagem e escarificação do solo, esse sistema interfere muito pouco na estrutura do solo, preservando ao máximo os resíduos culturais.

Na região central do Brasil, a grande evolução na adoção do sistema plantio direto observada nos últimos anos, se deve à solução parcial ou total dos problemas resultantes do uso deste sistema, tais como a formação e manutenção de cobertura morta, correção das propriedades físicas e químicas do solo, mecanização do plantio, manejos das plantas daninhas e pragas, dentre outros. Entretanto, sob condições climáticas reinantes nestes biomas, tem sido difícil a formação e principalmente a

manutenção de volume de palhada, em quantidade suficiente para proteger plenamente a superfície do solo, devido à presença de uma estação seca, que dificulta o crescimento dos vegetais.

Em síntese, o sistema plantio direto tem resultado na maioria das situações, na melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, contribuindo para aumentar a infiltração da água e a redução da erosão, mantendo mais uniforme a umidade e temperatura do solo, melhorando dessa forma a disponibilidade de nutrientes para as culturas (BERTOL et al., 2004; VIEIRA & KLEIN, 2007; COSTA et al., 2008).

A superioridade do sistema plantio direto sobre o sistema de preparo convencional tem sido, em geral, comprovada em uma grande variedade de condições em todo o mundo. Entretanto necessita-se desenvolver e adaptar o sistema em cada local e assegurar-se de que a tecnologia funcione sob as condições ambientais e sócio-econômicas regionais ou locais.

Neste sentido, este trabalho tem objetivo de avaliar mudanças em propriedades físicas e do carbono orgânico de um Argissolo Vermelho-Amarelo, em função da adoção de diferentes manejos conduzidos num experimento de longa duração localizado na Zona da Mata mineira, buscando subsidiar o agricultor da região na decisão de qual ou quais sistemas de manejo adotar, visando à conservação e recuperação de seus solos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J.A.; LEITE, D.; AMARAL, A.J. & ZOLDAN JUNIOR, W.A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Rev. Bras. Ci. Solo**, 28:155-163, 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. **Rev. Bras. Ci. Solo**, 22:527-538, 1998.

COSTA, F.S.; BAYER, C.; ZANATTA, J.A. & MIELNICZUK, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Rev. Bras. Ci. Solo**, 32:323-332, 2008.

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

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, **Soil Sci. Soc. Am.**, 1994. p.3-22. (Special publication, 35).

LA SCALA Jr., N.; BOLONHEZI, D. & PEREIRA, G.T. Shortterm soil CO₂ emission after conventional and reduced tillage of a no till sugar cane area in Southern Brazil. **Soil Till. Res.**, 91:244-248, 2006.

PRADO, R.M., ROQUE, G.C. SOUZA, Z.M. Sistemas de preparo e resistência à penetração e densidade de um Latossolo Vermelho eutrófico em um cultivo intenso e pousio. **Pesq. Agropec. Bras.**, 37:1795-1801, 2002.

TÓTOLA, M.R.; BORGES, A.C. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. **Tópicos em Ciências do Solo**, Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2:195-276, 2002.

VIEIRA, M.L. & KLEIN, V.A. Propriedades físico-hídricas de um latossolo vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. **Rev. Bras. Ci. Solo**, 31:1271-1280, 2007.

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.**, 40:487-494, 2005.

CAPÍTULO 1

PROPRIEDADES FÍSICO-HÍDRICAS DE UM ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO COM DIFERENTES MANEJOS, LOCALIZADO NA ZONA DA MATA MINEIRA

1. INTRODUÇÃO

O cultivo do solo altera suas propriedades físicas em relação ao solo não cultivado, tal como aquele encontrado em matas nativas e secundárias. Tais alterações são mais pronunciadas nos sistemas convencionais de preparo quando comparados aos conservacionistas, as quais se manifestam, em geral, na densidade, volume e distribuição de tamanho dos poros e estabilidade dos agregados, influenciando a infiltração da água, erosão hídrica e desenvolvimento das plantas (BERTOL et al., 2004).

Os preparos convencionais rompem os agregados na camada preparada e aceleram a decomposição da matéria orgânica, refletindo negativamente na resistência dos agregados do solo. Estes sistemas de preparo aumentam o volume de poros, a permeabilidade e o armazenamento de ar, e facilitam o crescimento das raízes das plantas dentro da camada preparada, em relação ao plantio direto e à mata nativa. No entanto, abaixo da camada preparada, contrariamente ao que ocorre no plantio direto e na mata nativa, essas propriedades apresentam comportamento inverso da superfície (COSTA et al., 2003; BERTOL et al., 2004). Além disso, os aspectos positivos dos preparos convencionais são perdidos, quando o solo descoberto pelo efeito do preparo é submetido à chuvas, as quais o desagregam na superfície pelo impacto das gotas,

diminuem a taxa de infiltração de água e aumentam o escoamento superficial e a erosão hídrica em relação aos outros sistemas de manejo do solo (BERTOL et al., 2004).

Os preparos de solo conservacionistas, tal como plantio direto, com menor revolvimento, mantêm parcial ou totalmente os resíduos vegetais na superfície e, aportam constantemente matéria orgânica, a qual é responsável pela manutenção e melhoria das propriedades físicas do solo (CASTRO FILHO et al., 1998; BERTOL et al., 2004). O plantio direto modifica as condições do solo, em taxas e direções diferentes das observadas em sistemas de manejo que incluem o seu revolvimento. O solo é minimamente revolvido e o aporte de resíduos na superfície induz aumento da matéria orgânica, a qual, associada a raízes em decomposição, proporciona recuperação da estrutura do solo e maior distribuição e continuidade dos poros (COLARES et al., 2006). Os resíduos que permanecem na superfície do solo dissipam a energia cinética das gotas da chuva e proporcionam maior percurso ao escoamento da água de superfície. Assim, pode aumentar a capacidade de infiltração de água e, conseqüentemente o seu armazenamento (COLARES et al., 2006).

A estrutura do solo é um dos indicadores mais importantes para o crescimento das plantas, uma vez que influi diretamente nas condições de adensamento, compactação, encrostamento, infiltração de água e suscetibilidade do solo à erosão. A estrutura pode ser avaliada por meio da densidade do solo, macro e microporosidade, estabilidade de agregados, resistência à penetração e infiltração da água no solo. Estes indicam o efeito do manejo, sendo de fácil mensuração, com respostas rápidas e de razoável precisão (CAMPOS et al., 1995).

A estabilidade dos agregados, sendo considerada a principal componente estrutural do solo, varia com as características intrínsecas do solo e com os sistemas de manejo e cultivo (CASTRO FILHO et al., 1998; BERTOL et al., 2004; SILVA et al., 2006). A formação e a estabilização de macroagregados são observadas em solos com maior teor de matéria orgânica, visto que esta representa um eficiente agente cimentante, já que forma ligações, por meio de cátions polivalentes, de seus polímeros com as superfícies inorgânicas do solo (CASTRO FILHO et al., 1998). Desta forma, sistemas que promovam aporte de matéria orgânica e reduzam ou eliminem o revolvimento do solo favorecem a formação e estabilidade de agregados, proporcionando o predomínio de agregados maiores que 2,0 mm (macroagregados) (CASTRO FILHO et al., 1998; WENDLING et al., 2005).

Na avaliação da estabilidade de agregados são utilizados alguns índices, como diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e o índice de

estabilidade de agregados (IEA), propostos por KEMPER & CHEPIL (1965). O DMP é tanto maior quanto maior for a percentagem de agregados grandes e, demonstra a estabilidade da estrutura frente à ação de desagregação da água, podendo indicar o grau de susceptibilidade do solo à erosão hídrica. O DMG representa uma estimativa do tamanho dos agregados de maior ocorrência. O IEA denota uma medida de agregação total do solo e não considera a distribuição por classes de agregados. Quanto menor for a quantidade de agregados de menor diâmetro, maior será o IEA (CASTRO FILHO et al., 1998).

Sistemas conservacionistas como o plantio direto, por caracterizar reduzido ou quase ausência de revolvimento do solo e adição da palhada na superfície, contribuem no aporte de carbono no solo, provocando maior estabilidade dos agregados (CASTRO FILHO et al., 1998; BERTOL et al., 2004; WENDLING et al., 2005). Um adequado estado de agregação irá promover boas condições de aeração do solo, suprimento de nutrientes, resistência mecânica do solo à penetração das raízes, retenção e armazenamento de água, sendo de grande importância para a produtividade das culturas. Já a densidade do solo é uma propriedade dinâmica, podendo aumentar ou diminuir em função de seu uso e manejo (BERTOL et al., 2004; SILVA et al., 2006), sendo, portanto útil em estudos de compactação e/ou adensamento dos solos. A densidade relaciona-se com a estrutura, uma vez que esta é função do arranjo e orientação das partículas do solo, assim como da quantidade e geometria dos espaços porosos. Além da estrutura, a textura do solo também está relacionada com a densidade do solo, sendo observados maiores valores para solos arenosos, nos quais são frequentemente observados valores entre 1,35 a 1,85 kg dm⁻³, enquanto nos solos argilosos esta se apresenta na faixa de 0,95 a 1,25 kg dm⁻³ (ARAÚJO et al., 2004).

A porosidade do solo é reflexo direto da estrutura e textura do solo, sendo os poros determinados pelo arranjo e geometria das partículas, diferindo quanto à forma, comprimento, largura e tortuosidade. O estudo dos poros é usualmente realizado baseando-se no diâmetro e, distinguindo-se macro e microporos do solo, aos quais são associados os ambientes onde ocorrerão os processos de aeração e drenagem, para os primeiros e, de retenção de água, para os últimos (AGUIAR, 2008). No sistema de manejo conservacionista do solo, a porosidade se mostra mais contínua, favorecida pela maior estabilidade estrutural do solo, favorecendo a infiltração de água e dificultando o escoamento superficial em relação ao preparo convencional e, muitas vezes, em relação também a ambientes naturais (BERTOL et al., 2004).

Considera-se um solo fisicamente ideal quando este apresenta em média 50% do seu volume ocupado por poros e os outros 50% de volume ocupado por sólidos. Sugere-se que 34% do seu volume de poros sejam ocupados por gases e 66% por água (SKOPP et al., 1990) para que ocorra uma boa atividade microbiana capaz de mineralizar os restos culturais e disponibilizar nitrogênio para as plantas. Os macroporos também denominados poros de aeração, para a maioria das culturas são exigidos num limite crítico de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, sendo considerados valores ideais em torno de $0,33 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (TAYLOR & ASHCROFT, 1972). Esses valores seriam limitantes ao desenvolvimento radicular, pela reduzida taxa de difusão de gases no solo e pela dificuldade de drenagem do excesso de água das chuvas.

Neste sentido, o objetivo deste estudo foi verificar os efeitos de diferentes sistemas de manejo convencionais e de plantio direto sobre algumas propriedades físicas de um Argissolo Vermelho-Amarelo, num experimento de longa duração localizado na Zona da Mata mineira.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização e descrição da área de estudo

O estudo foi realizado no ano agrícola de 2008, em experimento conduzido a partir de 1985, localizado na Estação Experimental da Universidade Federal de Viçosa, no município de Coimbra, MG. A Estação Experimental está situada a 20° 45' S e 42° 51' W, com altitude de 700 m. Apresenta ainda temperatura média anual de 19 °C e precipitação média anual de 1400 mm, concentrada nos meses de outubro a março, com média anual de umidade relativa do ar de 85 %. O solo da área experimental, segundo EMBRAPA (2006) é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura argilosa (LEITE, 2002).

Este experimento faz parte de uma linha de pesquisa dos Departamentos de Fitotecnia e de Solos, visando identificar sistemas de produção voltados à conservação do solo. Anteriormente à instalação do experimento, a área encontrava-se sob condições de vegetação natural, até a década de 30, sendo posteriormente cultivada por cerca de 50 anos com culturas de subsistência, como o milho e o feijão. Em 1985 foi realizada a adequação da área visando a implantação dos sistemas de manejo a serem estudados. A adequação constou da correção da acidez do solo com aplicação de 4 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico e da fertilidade com aplicações anuais diferenciadas ao longo de 23 anos. A adubação aplicada durante o período variou conforme as exigências de cada cultura, sendo as quais para o milho: 400 kg ha⁻¹ de fertilizantes na forma de NPK, fórmula 4-14-08 (14, 49 e 28 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente, na forma de sulfato de amônio, superfosfato simples e cloreto de potássio) na semeadura e, 40 kg ha⁻¹ de N, na forma de uréia, em cobertura; feijão: 350 kg ha⁻¹ de NPK, fórmula 4-14-08, na semeadura e, 20 kg ha⁻¹ de N, na forma de uréia, em cobertura; Trigo: 350 kg ha⁻¹ de NPK, fórmula 4-14-08, na semeadura e, 20 kg ha⁻¹ de N na forma de sulfato de amônio,

em cobertura; e soja: 350 kg ha⁻¹ da mistura de 300 kg de superfosfato simples para 50 kg de cloreto de potássio, na semeadura.

Durante o período experimental (1985-2008), a área foi submetida em média a um preparo de solo por ano e cultivada sempre com a cultura do milho, exceto nos períodos de 1986-1987, 1989-1990 e 2005-2006, com a cultura do feijão; 1995-1998, com as culturas de soja e trigo. Para todas as culturas realizaram-se cultivos anuais, procedendo ao plantio e a colheita entre os meses de outubro a março (período das “águas”), enquanto nos demais meses do ano, as áreas permaneciam sob pousio, exceto nos períodos de 1996-1998 e os anos 2001, 2003 e 2008, no qual realizou-se os cultivos de trigo, feijão, soja e milho, respectivamente, nos meses de janeiro a março (período das “águas”). Em todos esses anos, os tratamentos, a distribuição das parcelas e o delineamento experimental permaneceram os mesmos desde a implantação.

As operações de controle das plantas daninhas foram feitas preferencialmente com herbicidas. Desde a instalação do experimento até o ano agrícola 1999, foram utilizadas misturas dos herbicidas glyphosato e 2,4-D nas operações de dessecação das plantas daninhas. Após esse período passou a ser utilizado apenas o glyphosato. Os herbicidas aplicados em pós-emergência variaram de acordo com a cultura, sendo a atrazina o mais empregado.

2.2. Procedimento experimental e tratamentos

O experimento constou de quatro sistemas de preparo, dispostos em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. As unidades experimentais apresentam dimensões de 14 m de comprimento e 8 m de largura separadas entre si por uma rua de 5 m. Os tratamentos estudados foram os seguintes sistemas de manejo:

1. Plantio direto (PD) – solo revolvido apenas ao longo das linhas de plantio, sendo, por ocasião da semeadura, sulcado com semeadora-adubadora de tração motorizada.
2. Arado de disco (AD) – utilizou-se arado de discos fixo, com três discos, de tração motorizada, em uma única aração, com profundidade de 20-25 cm.
3. Arado de disco+Grade pesada (AD+GP) – única gradagem, com grade pesada, de 20 discos, sendo 10 rugosos e 10 lisos, para trituração dos restos vegetais e

posteriormente uma única aração com arado de discos fixo, com três discos, de tração motorizada, com profundidade de 20-25 cm, para incorporação dos resíduos vegetais.

4. Grade Pesada (GP) – duas gradagens, com grade pesada de 20 discos, sendo 10 rugosos e 10 lisos, de tração motorizada, com profundidade de 10-15 cm.

À exceção do tratamento plantio direto, todos os demais receberam duas gradagens leves, com grade de 28 discos, para destorroamento e nivelamento do terreno.

Uma área sob Mata Atlântica Secundária (MS), adjacente ao experimento (distante aproximadamente 500 m), com mesmo tipo de solo, também foi estudada, sendo utilizada como referência. Nesta área foi definido, no terço médio, um transecto de aproximadamente 50 m, no qual se delimitaram quatro áreas, para representar as quatro unidades experimentais, com dimensões de 8 m de largura e 14 m de comprimento, representados em forma de blocos, respeitando a mesma representação dos tratamentos da área do experimento para obtenção das amostras.

2.3. Amostragem do solo

A amostragem do solo foi feita em agosto de 2008, no final do estágio de maturação da cultura do milho, mediante auxílio de pá-de-corte. Em cada tratamento foram amostradas quatro camadas nas entre linhas da cultura: 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm de profundidade. Para cada camada, cinco amostras deformadas foram obtidas que, depois de homogeneizadas, compuseram uma amostra composta. Desta forma, considerando os cinco tratamentos, os quatro blocos do experimento e da mata secundária demarcada e, as quatro profundidades, foram coletadas 80 amostras compostas. As amostras foram secas ao ar (TFSA), destorroadas e passadas em peneira de malha de 2 mm, nas quais foram determinadas a composição granulométrica, argila dispersa em água, densidade de partículas, análise química de rotina e carbono orgânico total. Para determinar a estabilidade de agregados, uma parte das amostras coletadas foi preparada destorroando-se os torrões com as mãos, tomando o cuidado para não destruir os agregados. Na seqüência estas foram tamisadas com peneiras de 4 e 2 mm, no qual os agregados que passaram pela maior peneira e retidos pela menor, foram os utilizados para análise. Foi coletada uma amostra indeformada em cada uma das quatro profundidades avaliadas, em todos os cinco tratamentos e quatro blocos, para

determinar a condutividade hidráulica do solo em meio saturado, densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo. As amostras indeformadas foram obtidas em anéis volumétricos de 5 cm de diâmetro e 5 cm de altura. Também foram coletadas amostras indeformadas para fazer análise micromorfológica. As amostras foram coletadas na camada superficial do solo, nos tratamentos PD, AD+GA e na MS, em dois blocos selecionados aleatoriamente, por meio de inserção de anéis volumétricos de 3 cm de altura e 5 cm de diâmetro.

2.4. Caracterização química do solo

As características químicas do solo estudado encontram-se no Quadro 1.

Quadro 1 - Características químicas de um Argissolo Vermelho-Amarelo com mata secundária e diferentes sistemas de manejo, Coimbra, MG⁽¹⁾

Sistema de manejo	pH (H ₂ O)	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	T	V	m	P _{rem}
		----- mg dm ⁻³ -----			----- cmol _c dm ⁻³ -----			----- % -----		----- mg L ⁻¹ -----		
0-5 cm												
MS	4,41	2,5	59,0	6,2	0,25	0,16	1,61	11,1	11,7	49,3	0,0	22,5
PD	5,49	13,1	149,0	9,1	3,00	1,20	0,00	4,7	9,4	49,3	0,0	29,5
AD	4,73	19,5	143,0	7,7	1,61	0,52	0,22	5,2	7,7	26,3	7,8	27,4
AD+GP	4,85	18,9	139,5	6,2	1,48	0,48	0,20	5,6	7,9	29,8	8,0	27,0
GP	4,96	25,2	155,0	6,7	1,69	0,59	0,17	5,4	8,1	37,9	5,8	29,0
5-10 cm												
MS	4,30	0,6	48,5	6,7	0,01	0,04	1,56	10,3	21,9	1,9	88,5	21,9
PD	4,98	28,9	94,3	6,6	1,49	0,54	0,29	5,8	27,9	28,4	11,2	27,9
AD	4,86	17,1	107,8	5,7	1,59	0,49	0,17	4,9	26,4	32,4	6,5	26,4
AD+GP	4,91	12,7	112,8	5,4	1,55	0,49	0,22	5,1	22,9	32,1	8,7	22,9
GP	4,94	21,0	107,8	6,9	1,61	0,52	0,17	5,5	27,3	30,9	6,5	27,3
10-20 cm												
MS	4,30	0,3	43,3	7,2	0,00	0,03	1,42	8,6	8,8	1,9	89,4	19,4
PD	4,77	17,5	63,5	5,9	0,98	0,28	0,60	5,9	7,3	19,9	29,6	25,6
AD	5,03	10,9	78,5	5,9	1,57	0,46	0,19	4,8	7,1	32,0	7,8	27,1
AD+GP	4,66	15,9	97,0	5,9	1,51	0,45	0,19	5,1	7,3	30,6	8,3	27,8
GP	4,82	9,2	63,8	5,4	1,24	0,33	0,27	4,8	6,6	26,7	13,0	26,9
20-40 cm												
MS	4,40	1,8	31,0	6,2	0,00	0,00	1,25	6,7	6,8	1,8	91,9	13,4
PD	4,71	3,3	53,5	6,4	1,11	0,21	0,46	4,6	6,1	24,6	23,7	23,8
AD	5,02	1,5	43,5	5,2	1,47	0,31	0,10	3,6	5,5	35,0	4,7	21,4
AD+GP	4,93	2,4	59,5	5,7	1,41	0,35	0,17	4,0	5,9	33,2	8,3	23,4
GP	4,93	0,6	46,0	4,4	1,32	0,23	0,12	3,7	5,4	31,3	6,4	24,5

¹(pH: 1:2,5; H+Al: Extrator Ca(OAc)₂ 0,5 mol L⁻¹ pH 7,0; Ca, Mg e Al: Extrator KCl 1 mol L⁻¹; K, Na e P Extrator Mehlich-1(DEFELIPO & RIBEIRO, 1981); Prem (ALVAREZ V. et al., 2000); T: capacidade de troca catiônica total; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio; Prem: fósforo remanescente; MS: mata secundária; PD: plantio direto; AD: arado de disco; AD+GP: arado de disco + grade pesada; GP: grade pesada.

2.5. Análises físicas e químicas

2.5.1. Composição granulométrica, argila dispersa em água, densidade de partículas e grau de flocculação

A análise textural foi realizada pelo método da pipeta, baseado no princípio da velocidade de queda das partículas, conforme a Lei de Stokes, utilizando-se como dispersante químico o hidróxido de sódio a $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ (EMBRAPA, 1997). Para a dispersão física, empregou-se a agitação lenta de 50 rpm por 16 h, em agitador orbital tipo Wagner (RUIZ, 2005a). A determinação de silte foi efetivada por pipetagem e não por diferença (RUIZ, 2005b).

A argila dispersa em água (ADA) foi determinada seguindo metodologia descrita para análise granulométrica, suprimindo-se o uso do dispersante químico (EMBRAPA, 1997). A densidade de partículas do solo (D_p) foi obtida segundo o método do balão volumétrico, utilizando-se álcool como líquido penetrante (EMBRAPA, 1997). O grau de flocculação (GF) foi calculado utilizando-se a Equação 1, conforme EMBRAPA (1997).

$$GF = \left(\frac{\text{argila} - ADA}{\text{argila}} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

2.5.2. Densidade do solo

Para a determinação de densidade do solo (D_s), foi utilizado o método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997), com amostras indeformadas coletadas em anéis cilíndricos descritos no item 2.3.

2.5.3. Porosidade total, macro e microporosidade

A porosidade total (P_T) foi calculada pela relação entre densidade do solo (D_s) e densidade de partículas (D_p), conforme Equação 2. A microporosidade (P_{MI}) foi obtida a partir da quantidade de água retida nas amostras indeformadas de solo submetidas à tensão de $-0,006 \text{ MPa}$ (60 cm de H_2O). A macroporosidade (P_{MA}) foi obtida pela

diferença entre a porosidade total e a microporosidade ($P_{MA} = P_T - P_{MI}$). Todos os procedimentos foram efetivados segundo EMBRAPA (1997).

$$PT = 1 - \frac{D_s}{D_p} \quad (2)$$

2.5.4. Condutividade hidráulica do solo em meio saturado

Para o estudo da condutividade hidráulica foram utilizados permeômetros de carga constante, sendo usado frascos de Mariote para manter a carga constante exercida por uma lâmina de água de 2 cm sobre as amostras de solo saturadas (EMBRAPA, 1997). O valor da condutividade hidráulica em meio saturado (K_e) foi calculado utilizando-se a Equação 3, baseada na Lei de Darcy. Os valores de K_e , determinados nas condições ambientais de temperatura, foram recalculados para a temperatura de referência de 20 °C (K_0) empregando-se a Equação 4.

$$K_e = -\frac{\frac{V}{At}}{-\frac{l}{L} + 1} \quad (3)$$

$$K_0 = K_e \cdot \frac{\eta_e}{\eta_{20}} \quad (4)$$

onde:

V = volume da água percolado da coluna de solo (mL);

t = tempo (s);

A = área transversal da coluna de solo (cm²);

l = lâmina de água mantida sobre a coluna de solo (cm);

L = altura da coluna de solo;

η_e = viscosidade dinâmica da água na temperatura ambiente (momento da determinação);

η_{20} = viscosidade dinâmica da água a 20 °C (0,01002 p).

2.5.5. Estabilidade de agregados

A distribuição das classes de tamanho dos agregados foi realizada em amostras de agregados de 2 a 4 mm de diâmetro, por meio do tamisamento úmido, utilizando-se um aparelho de Yoder (EMBRAPA, 1997). O tamisamento foi efetuado utilizando-se um conjunto de peneiras com malhas de 0,105; 0,25; 0,5; 1; e 2 mm de abertura. Foram obtidas seis classes de tamanhos de agregados, definidas pelos seguintes intervalos de diâmetros: < 0,105 mm; 0,105-0,25 mm; 0,25-0,5 mm; 0,5-1 mm; 1-2 mm e 2-4 mm (KEMPER & CHEPIL, 1965). A partir dos dados obtidos, foram calculados os parâmetros: diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP) e índice de estabilidade de agregados (IEA). Nos cálculos dos parâmetros DMP, IEA e DMG foram utilizadas as equações 5, 6 e 7 respectivamente, de acordo com KEMPER & CHEPIL (1965).

$$DMP = \sum_{i=1}^n (x_i \cdot w_i) \quad (5)$$

$$IEA = \left(\frac{Ps - wp_{0,105} - areia}{Ps - areia} \right) \cdot 100 \quad (6)$$

$$DMG = \exp \left[\frac{\sum_{i=1}^n wp \cdot \log x_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \right] \quad (7)$$

onde:

x_i = diâmetro médio das classes (mm);

w_i = proporção de cada classe em relação ao total;

Ps = massa da amostra seca (g);

$wp_{0,105}$ = massa dos agregados da classe <0,105 mm (g);

wp = massa dos agregados de cada classe (g);

$areia$ = proporção de areia (kg kg^{-1}).

2.5.6. Carbono orgânico total

O carbono orgânico total (COT) foi quantificado por oxidação da matéria orgânica via úmida, com $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ $0,167 \text{ mol L}^{-1}$ em meio sulfúrico com aquecimento externo (YEOMANS & BREMNER, 1988).

2.5.7. Análise micromorfológica

As amostras indeformadas de solos foram secas em estufa de circulação forçada, a 105°C por 48 horas. Posteriormente as amostras foram secas em câmara fechada com sílica gel e vapor de acetona, e impregnada com resina de poliéster, segundo método descrito por CASTRO (1985) e MURPHY (1986). As amostras impregnadas foram deixadas para endurecimento e cura da resina por 10 dias. Após a cura, as amostras foram cortadas com serra de disco diamantado e, procedeu-se à confecção de lâminas delgadas (com espessura aproximada de $30 \mu\text{m}$). Estas foram preparadas a partir dos cortes efetuados no setor mediano dos blocos do solo. As lâminas delgadas foram fotografadas em microscópio ótico Olympus CX-31, com máquina digital acoplada, com aumento de 40x. Foram selecionados aleatoriamente 10 agregados por lâmina (Figura 1), em vários campos examinados, para medição de alongamento, comprimento máximo e mínimo do agregado e área do agregado.

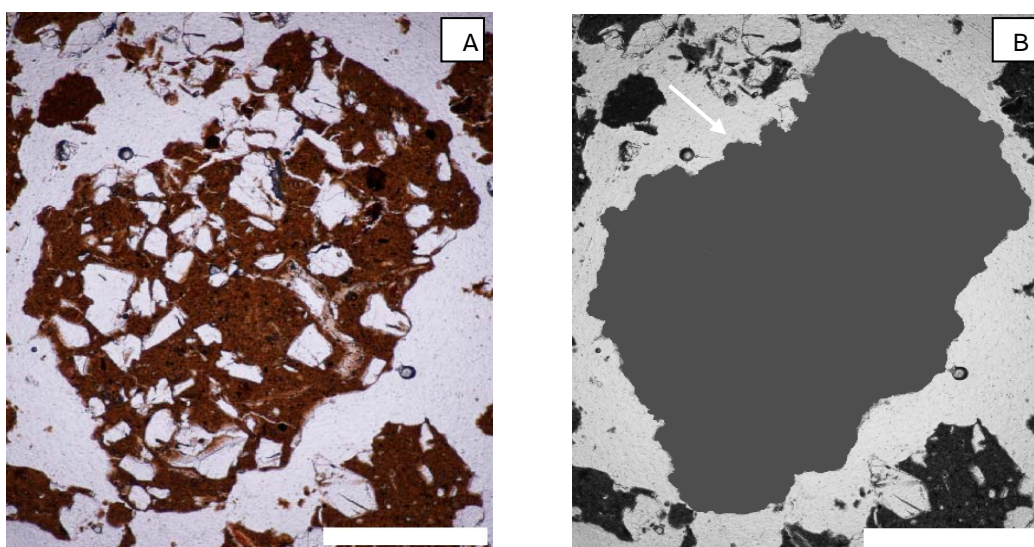


Figura 1 - Exemplo de microfotografia de agregado (A), e representação da área de estudo (agregado) (B). Escala: 1mm.

As lâminas também foram scaneadas mediante utilização de um scanner com capacidade de resolução de 2400 pixels, para obtenção da distribuição das características morfométricas da porosidade.

As imagens digitais foram processadas e medidas com a utilização do programa Adobe Photoshop CS3. A resolução da medida foi determinada pelo tamanho do pixel usado na digitalização da imagem. A partir deste programa, foram analisadas as seguintes variáveis nos agregados: área, perímetro, comprimento do maior eixo e do menor eixo, alongamento e diâmetro de Feret. Essas variáveis fornecem informações sobre o tamanho, forma e rugosidade dos agregados, servindo como base para comparar diferentes sistemas de manejo do solo no que diz respeito à maior ou menor agressividade à estrutura do solo. As variáveis e índices analisadas foram definidas, conforme OLSZEWSKI et al. (2004), a seguir:

Perímetro (Pm): comprimento da projeção do limite exterior do agregado.

Comprimento do maior eixo (CMA): comprimento de uma linha traçada na maior distância no agregado.

Comprimento do menor eixo (CME): comprimento de uma linha traçada perpendicularmente ao maior eixo do agregado.

Área (Ar): corresponde ao número de pixels no polígono, sendo calculada a partir da fórmula.

$$Ar = \pi \cdot (CMA \cdot CME) \quad (8)$$

Alongamento (Al): relação entre o comprimento do menor eixo e o comprimento do maior eixo. O resultado será um valor entre 0 e 1. Quanto maior o valor, menor será a diferença entre os comprimentos dos eixos perpendiculares e menor o alongamento.

Arredondamento (Ard): medida dependente da rugosidade da superfície externa do agregado (perímetro). Fornecerá o resultado entre 0 e 1 e, quanto maior o valor, maior o grau de arredondamento. É calculado a partir da fórmula.

$$Ard = \frac{4\pi \cdot Ar}{Pm^2} \quad (9)$$

Diâmetro de Feret (DF): o diâmetro de um círculo com a mesma área do objeto. É calculado a partir da fórmula:

$$DM = \sqrt{\frac{4 \cdot Ar}{\pi}} \quad (10)$$

Rugosidade (Ru): é a relação entre o perímetro e a área do agregado

$$Ru = \frac{Pm}{Ar} \quad (11)$$

2.6. Análise estatística

O efeito dos sistemas de manejo, sobre as características químicas e físicas do solo, por profundidade, foi avaliado pela análise de variância, sendo as médias comparadas pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade, com auxílio do sistema computacional Winstat (UFPEL, 2001).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Composição granulométrica, argila dispersa em água, grau de flocculação e densidade da partícula do solo em diferentes sistemas de manejo

Os valores da análise textural permitem classificar o solo como argiloso, exceto na profundidade 0-5 cm, ao qual se enquadra em textura argilo-arenosa (Quadro 2).

Os valores de silte verificados nesse solo (exceção na MS) fornecem indícios de presença de minerais primários, provavelmente micas ou materiais agregantes de difícil dispersão, características de Argissolos. Por esse solo se localizar num terraço, constitui área de acúmulo de materiais oriundo das encostas, além de representar antigo depósito aluvial.

O incremento nos valores de ADA e conseqüentemente decréscimo dos valores de GF observados na camada 0-5 cm, no sistema convencional, podem estar associados ao intenso revolvimento do solo durante seu preparo, pelo fato de esses sistemas de preparo causarem uma intensa desagregação do solo ao romper e fraturar os agregados.

Para a Dp, diferenças estatísticas ($P < 0,05$) foram observadas entre os sistemas cultivados e a MS nas camadas 10-20 e 20-40 cm. Tais diferenças não eram esperadas, uma vez que a Dp não é afetada pelas práticas de manejo, pois sua determinação não considera a porosidade de aeração do solo, atributo normalmente afetado pelas práticas de manejo devido à alterações causadas na estrutura do solo. A dinâmica do carbono orgânico e dos minerais no solo pode estar associada à variação da Dp, uma vez que a matéria orgânica, por ser menos densa, diminui a Dp, ao contrário, a presença de minerais primários, como o quartzo e feldspato, sendo comuns nesse tipo de solo, por serem considerados de elevada densidade comparados aos minerais secundários, aumentam a Dp.

Quadro 2 - Composição granulométrica, argila dispersa em água (ADA), grau de floculação (GF), e densidade de partículas dos solos (Dp) de um Argissolo Vermelho-Amarelo, nas camadas 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, em diferentes sistemas de manejo

Sistema de Manejo ⁽¹⁾	AG	AF	Silte	Argila	ADA	GF	Dp
	----- kg kg ⁻¹ -----					%	kg dm ⁻³
0-5 cm							
MS	0,378	0,148	0,042	0,432	0,014 a*	74,75 a	2,50 a
PD	0,350	0,150	0,103	0,397	0,014 a	62,25 b	2,57 a
AD	0,322	0,155	0,117	0,406	0,087 b	57,75 b	2,51 a
AD+GP	0,310	0,156	0,098	0,436	0,086 b	57,50 b	2,51 a
GP	0,288	0,140	0,101	0,471	0,090 b	61,00 b	2,54 a
CV (%) ⁽²⁾	-	-	-	-	5,19	8,09	4,85
5-10 cm							
MS	0,354	0,169	0,035	0,442	0,136 b	71,50 a	2,53 a
PD	0,307	0,164	0,107	0,422	0,189 ab	56,50 b	2,47 a
AD	0,306	0,154	0,118	0,422	0,178 ab	56,75 b	2,43 a
AD+GP	0,298	0,150	0,101	0,451	0,203 a	57,00 b	2,44 a
GP	0,314	0,150	0,096	0,440	0,162 ab	55,00 b	2,49 a
CV (%)	-	-	-	-	14,44	5,79	4,36
10-20 cm							
MS	0,318	0,168	0,035	0,479	0,136 b	72,00 a	2,61 a
PD	0,308	0,155	0,101	0,436	0,189 ab	55,75 b	2,40 b
AD	0,306	0,154	0,118	0,422	0,178 ab	58,00 ab	2,51 b
AD+GP	0,299	0,149	0,101	0,451	0,203 a	54,75 b	2,43 b
GP	0,298	0,143	0,081	0,478	0,162 ab	65,50 ab	2,57 b
CV (%)	-	-	-	-	14,44	11,41	3,50
20-40 cm							
MS	0,265	0,144	0,052	0,539	0,186 a	65,25 b	2,57 abc
PD	0,253	0,138	0,113	0,496	0,099 ab	77,25 ab	2,41 c
AD	0,263	0,139	0,116	0,482	0,086 ab	82,25 ab	2,63 a
AD+GP	0,248	0,133	0,103	0,516	0,149 ab	70,25 ab	2,43 bc
GP	0,267	0,132	0,096	0,505	0,027 b	93,25 a	2,61 ab
CV (%)	-	-	-	-	49,76	15,75	3,17

⁽¹⁾MS: mata secundária, PD: plantio direto, AD: arado de disco, AD+GP: arado de disco + grade pesada e GP: grade pesada; AG: areia grossa; AF: areia fina; ⁽²⁾ CV: coeficiente de variação; * Médias seguidas da mesma letra na coluna de variáveis e profundidades não diferem entre si pelo teste Tukey (<0,05).

3.2. Densidade do solo em diferentes sistemas de manejo

A densidade do solo (Ds) na camada superficial (0-5 cm) foi maior no PD, não diferindo (P<0,05) apenas do sistema de preparo AD (Figura 2), concordando com BERTOL et al. (2004) e ARGENTON et al. (2005), os quais, ao avaliarem sistemas de manejo convencional e plantio direto com campo nativo e mata respectivamente, obtiveram resultados semelhantes. No entanto, verifica-se incremento da Ds nas outras três camadas estudadas, em todos os manejos estudados, exceto o PD, o qual teve acréscimo apenas na camada 5-10 cm, diferindo (P<0,05) da MS. Este comportamento

se deve à pressão exercida no solo pelo tráfego de máquinas para efetuar o preparo durante todo período experimental após 23 anos de implantação, bem como à consolidação do solo, considerando-se a ausência quase completa de preparo no PD no transcorrer desse período. Já para a MS, o aumento da Ds em profundidade provavelmente está associado a redução do COT nesse sistema, uma vez que a P_{MA} , principal responsável pelo aumento da Ds nos sistemas de manejos avaliados, em função da sua redução em profundidade, mostrou-se contrária na MS, apresentando valores maiores (Quadros 3 e 4).

Os maiores valores de densidade verificados na camada 5-10 cm nos dois sistemas de manejo (preparos convencionais e PD) podem ser indicio de compactação do solo, em virtude do confinamento das pressões resultantes do tráfego de máquinas tanto no PD, como nas formas de preparo convencional e, pressão exercida pelos implementos agrícolas durante o preparo do solo nos preparos convencionais, concordando com ARGENTON et al. (2005), os quais verificaram incremento de Ds na faixa entre 5 e 15 cm de profundidade, para um Latossolo Vermelho submetido a preparo reduzido e convencional. Para REICHERT et al. (2003), o maior estado de compactação de solos no sistema PD indicado pela Ds ocorre entre 8 até aproximadamente 15 cm de profundidade. Além do efeito compactação, eventualmente partículas mais finas de argila dispersas pela calagem e pelo impacto das gotas de chuvas nos solos expostos, podem também contribuir para o incremento da Ds. As partículas dispersas podem ser translocadas verticalmente no perfil e, provocar o entupimento de poros.

A menor Ds observada nos preparos convencionais, nos primeiros 5 cm de profundidade, foi influenciada pelo revolvimento do solo executado durante o preparo para a semeadura da cultura e, pela ausência de tráfego de máquinas entre o período da semeadura e os primeiros tratos culturais. Lima et al. (2008) conduziram um trabalho comparando sistemas de manejo convencional e plantio direto com campo nativo, num Planossolo Háplico, obtiveram resultados semelhantes, concluindo efeitos positivos devido ao revolvimento pré- semeadura.

Com o incremento da profundidade, a Ds tende a diminuir no PD comparado aos preparos convencionais. Observa-se redução cerca de 9 % da Ds no PD, na profundidade 20-40 cm, em relação à primeira camada examinada, sendo semelhante ($P < 0,05$) à MS e, diferindo dos demais sistemas de preparo. Esse valor ficou abaixo de $1,30 \text{ kg dm}^{-3}$ ($1,21 \text{ kg dm}^{-3}$) estabelecido por TAYLOR & ASHCROF (1972), considerado nível crítico para o desenvolvimento adequado do sistema radicular das

culturas, pois valores acima, segundo os autores, servem de indício de grau de compactação do solo. A redução da densidade no solo no PD conforme aumento da profundidade pode estar relacionado principalmente ao incremento da macroporosidade observado nesse sistema (Quadro 3), uma vez que a macroporosidade se correlaciona negativamente com a Ds (ARGENTON et al., 2005).

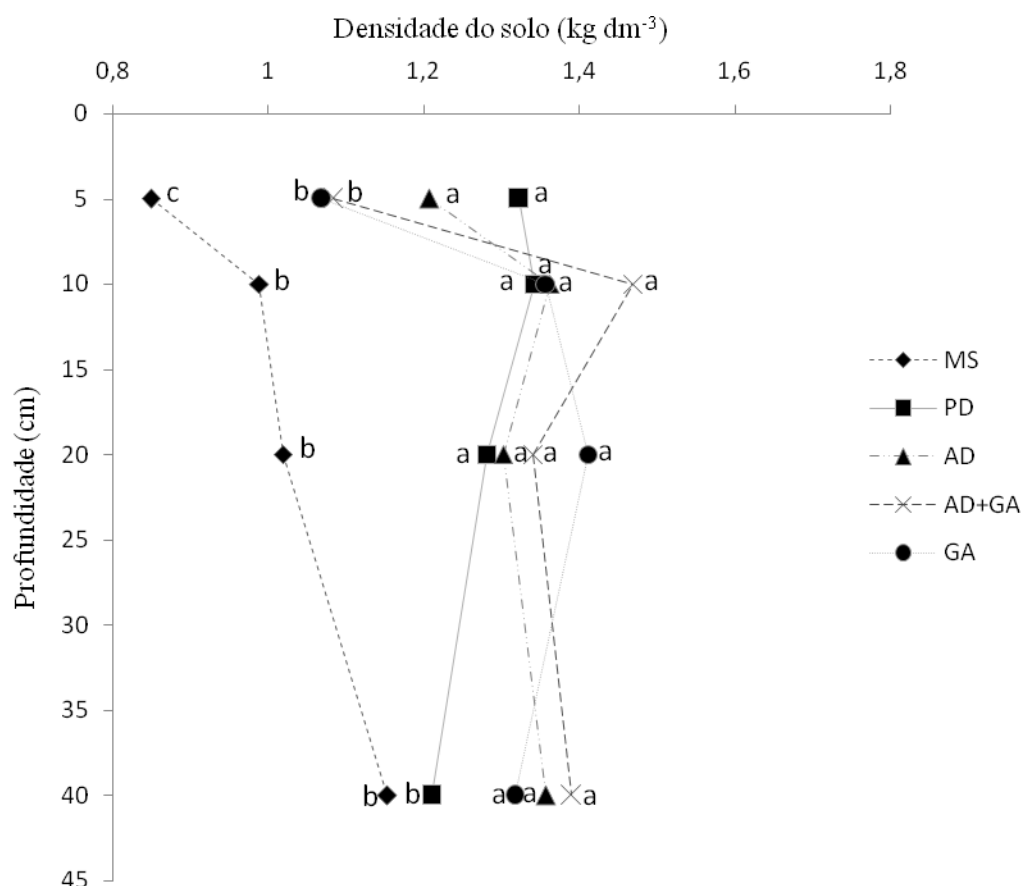


Figura 2 - Densidade do solo em diferentes profundidades, de um Argissolo Vermelho Amarelo, em diferentes sistemas de manejo; MS: mata secundária; PD: plantio direto; AD: arado de disco; AD+GP: arado de disco + grade pesada e GP: grade pesada. Variáveis seguidas de mesma letra, em cada profundidade, não diferem entre si pelo teste Tukey ($<0,05$).

3.3. Porosidade total, macro e microporosidade do solo em diferentes sistemas de manejo

A macroporosidade (P_{MA}) e a porosidade total (P_T) foram maiores na MS em todas as camadas avaliadas, diferindo ($P<0,05$) dos sistemas de manejo estudados (Quadro 3). Essa constatação pode ser atribuída ao fato da MS ser um sistema inalterado

e consolidado, preservando dessa forma a sua estrutura. A maior porosidade desse sistema também pode estar associada à baixa D_s observada, (Figura 2).

O sistema de manejo PD apresenta a menor P_T na camada superficial, diferindo ($P < 0,05$) dos demais sistemas representados pelo preparo convencional (AD, AD+GP e GP) e da MS. No entanto, a medida que aumenta a profundidade, aumenta numericamente a P_T , concomitantemente com a macroporosidade nesse sistema de manejo, de modo a não diferir ($P < 0,05$) da MS na camada 20-40 cm. Este comportamento concorda com BERTOL et al. (2004) e ARGENTON et al. (2005), os quais atribuem a redução da densidade do solo em subsuperfície ser o principal atributo que resulta no aumento da P_{MA} . A P_{MA} foi maior que $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na MS e no PD nas profundidades 10-20 e 20-40 cm, considerado valor mínimo adequado para as trocas líquidas e gasosas, para fortalecer o desenvolvimento adequado do sistema radicular para a maioria das culturas (TAYLOR & ASHCROFT, 1972).

O sistema convencional representado pelos preparos AD+GP e GP, embora não diferindo ($P < 0,05$) do AD, apresentou a menor P_T nas camadas 5-10, 10-20 e 20-40 cm, exceto o preparo AD+GP na camada 10-20 cm (Quadro 3). O acompanhamento da elevada densidade do solo e, quase ausência da P_{MA} , são fatores atribuídos a esse comportamento. Observa-se que o volume de macroporos de $0,007 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ verificado nesses sistemas de preparo, na camada 5-10 cm, representa apenas 7 % do valor considerado por TAYLOR & ASHCROFT (1972) como o mínimo necessário para o desenvolvimento ideal das culturas. Esse valor fornece indícios de possíveis problemas de infiltração de água, circulação de oxigênio e, conseqüentemente, restrições para o desenvolvimento ideal do sistema radicular das culturas nessa camada.

A possível ocorrência de compactação superficial do solo ocasionada pelo tráfego de máquinas e implementos agrícolas, resultando em menor D_s (Figura 2), podem estar associados a baixa P_{MA} verificado no sistema PD, na camada superficial avaliada. Ao contrário, o intenso revolvimento do solo, ao provocar a desagregação e fratura dos agregados, diminui a D_s e, conseqüentemente, pode ser o principal fator responsável pelo aumento da P_T verificado no sistema convencional (AD, AD+GP e GP), diferindo ($P < 0,05$) do PD, concordando com BERTOL et al. (2004) e ARGENTON et al. (2005), quando compararam sistemas de manejo com campo nativo e mata, respectivamente.

A pequena variação no volume de microporos em relação à variação ocorrida no volume de macroporos, entre os sistemas de manejo e da MS, indica que esta variável foi modificada mais lentamente e, com menor intensidade, pelo manejo, do que os

macroporos, concluindo ser a P_{MA} mais sensível aos efeitos do manejo, concordando com os resultados observados por BERTOL et al. (2004), TORMENA et al. (2004) e ARGENTON et al. (2005). Entretanto, a redução nos valores de P_{MA} e, aumento dos valores de P_{MI} com o incremento da profundidade, embora não diferindo do PD, possivelmente devido ao elevado CV, não alteraram ($P < 0,05$) a P_T nos sistemas convencionais. Uma provável transformação de macroporos em microporos, devido ao intenso revolvimento no solo, causando além da compactação, o entupimento de poros pela migração de argilas dispersas, não pode ser descartada. Os efeitos decorrentes disto, embora possam incrementar a água retida por capilaridade nos microporos, frequentemente reduzem drasticamente a percolação de água no perfil, afetando sobremaneira, a disponibilidade de água no solo e a alimentação de lençóis freáticos (BERTOL et al., 2004; TORMENA et al., 2004).

O PD foi o único sistema no qual aumentou (em valores absolutos) a P_{MA} , em todas as camadas avaliadas, após 23 anos de implantação do sistema, resultando no aumento da P_T nas suas respectivas camadas. A restrição imposta pelo tráfego de máquinas e a ausência de revolvimento nesse sistema, permite um ambiente mais favorável para a meso e macrofauna do solo, possibilitando à formação de bioporos, assim, como a formação de galerias a partir do sistema radicular das culturas antecessoras e, a possibilidade de rearranjo estrutural dos agregados, justificando o incremento da P_{MA} nesse sistema de manejo estudado.

Quadro 3 - Microporosidade (P_{MI}), macroporosidade (P_{MA}) e porosidade total (P_T) de um Argissolo Vermelho-Amarelo, nas camadas 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, em diferentes sistemas de manejo

Sistema de Manejo ⁽¹⁾	P_{MI}	P_{MA}	P_T
----- m m ⁻³ -----			
0-5 cm			
MS	0,278 b	0,373 a	0,651 a
PD	0,390 a	0,067 b	0,457 c
AD	0,348 ab	0,182 b	0,530 bc
AD+GP	0,332 ab	0,210 b	0,542 b
GP	0,352 ab	0,205 b	0,557 b
CV (%) ⁽²⁾	11,86	31,57	6,36
5-10 cm			
MS	0,293 c	0,317 a	0,610 a
PD	0,377 b	0,080 b	0,457 b
AD	0,400 ab	0,041 bc	0,441 bc
AD+GP	0,398 ab	0,007 c	0,405 c
GP	0,423 a	0,007 c	0,430 bc
CV (%)	4,05	26,23	4,21
10-20 cm			
MS	0,300 b	0,312 a	0,612 a
PD	0,365 ab	0,110 b	0,475 b
AD	0,407 a	0,070 bc	0,477 b
AD+GP	0,392 a	0,030 c	0,422 b
GP	0,387 a	0,065 bc	0,452 b
CV (%)	8,44	29,44	8,01
20-40 cm			
MS	0,342 b	0,223 a	0,565 a
PD	0,412 a	0,118 b	0,530 ab
AD	0,435 a	0,042 c	0,477 c
AD+GP	0,420 a	0,025 c	0,445 c
GP	0,432 a	0,060 c	0,492 bc
CV (%)	4,40	24,21	5,21

⁽¹⁾MS: mata secundária, PD: plantio direto, AD: arado de disco, AD+GP: arado de disco + grade pesada e GP: grade pesada; ⁽²⁾ CV: coeficiente de variação; * Médias seguidas da mesma letra na coluna de variáveis e profundidades, não diferem entre si pelo teste Tukey (<0,05).

3.4. Carbono orgânico total e estabilidade de agregados em diferentes sistemas de manejo

Todos os manejos estudados apresentaram elevados valores de DMP, DMG e IEA (Quadro 4), sendo superiores aos encontrados comumente na literatura (CASTRO FILHO et al., 1998; WENDLING et al., 2005). Estes parâmetros são resultantes do predomínio de duas classes de agregados maiores (4-2 e 2-1 mm, Quadro 5), influenciando todos os parâmetros, uma vez que o DMP é tanto maior quanto maior for a percentagem de agregados maiores, enquanto o DMG representa uma estimativa das

classes de agregados de maior ocorrência (CASTRO FILHO et al., 1998). O elevado IEA se deve ao fato da baixa quantidade de agregados observados, tanto nos sistemas de manejo, como na MS. Esse parâmetro representa apenas a medida da agregação total do solo, desprezando a proporção <0,105 mm, uma vez que essa será contabilizada pela diferença da somatória das outras classes, além de considerar toda argila dispersa durante o processo de agitação da amostra para o tamisamento, aumentando consequentemente o IEA ao diminuir a quantidade de agregados <0,105 mm.

Comparando os dois sistemas de manejo com a MS, na camada 0-5 cm, observa-se que o PD e a MS não diferem ($P < 0,05$) entre si em todos os parâmetros de agregação avaliados (DMP, DMG e IEA), apresentando os maiores valores. Porém, ambos diferem ($P < 0,05$) dos demais preparos representados pelo sistema convencional (Quadro 4). Os aumentos relativos proporcionados pelo PD, comparado ao sistema de manejo de menor valor, representados pelo AD+GP, foram de 64,4%, 47,7% e 6,4%, para o DMP, DMG e IEA, respectivamente. Esse comportamento foi observado até a camada 10-20 cm, com exceção na camada 5-10 cm, no qual o DMG e DMP foram superados pelo manejo representado pela GP, embora não diferindo estatisticamente.

A superioridade da agregação verificada no PD correspondeu ao maior acúmulo de carbono orgânico total (COT) nesse sistema em relação ao manejo convencional, concordando com CASTRO FILHO et al. (1998) e WENDLING et al. (2005), quando verificaram uma correlação positiva do COT com índices de agregação. A presença constante de raízes atuando na aproximação das partículas minerais devido à pressão exercida no seu avanço através dos espaços porosos do solo e, a liberação de exsudatos orgânicos, associado pela compressão das partículas unitárias, favorecendo a coesão entre as partículas do solo (WENDLING et al., 2005), também são considerados fatores contribuintes na elevada estabilidade de agregados no sistema PD e na MS. O incremento do DMG foi resultante de quase 50% na classe de agregados >2 mm no PD em relação ao preparo AD+GP (Quadro 5), concordando com CASTRO FILHO et al. (1998), que ao examinarem a estabilidade de agregados de um Latossolo Roxo submetido a um experimento de longa duração, verificaram um incremento de 134% da mesma classe de agregados no sistema PD em relação ao convencional, após 14 anos de implantação.

Os resultados obtidos para DMP e DMG no manejo convencional (AD, AD+GP e GP), nas camadas 5-10, 10-20 e 20-40 cm, não diferem ($P < 0,05$) do sistema PD, porém ambos os preparos diferem da MS. Uma possível compressão das partículas do solo causada pela pressão exercida pela soleira dos implementos agrícolas durante o

preparo do solo, sem, entretanto ocorrerem outros mecanismos que contribuem com a sua estabilização, pode ser considerado o principal fator interferente na agregação, concordando com CRUZ et al. (2003), no qual ao estudarem os mecanismos de agregação de um Argissolo Vermelho sob sistema convencional e conservacionista, obtiveram resultados semelhantes.

O COT foi maior ($P < 0,05$) na MS em todas as camadas estudadas. Houve um aumento expressivo dos teores de COT na camada superior do solo (0-5 cm), no PD, comparado às formas de preparo do sistema convencional. Nas camadas 5-10, 10-20 e 20-40 cm não foram constatadas diferenças estatísticas entre os teores de COT. Em experimentos de longa duração realizados em diferentes regiões do Brasil, tem sido comprovados os efeitos do acúmulo de resíduos vegetais na superfície do solo pelo sistema PD, conseqüentemente, formando camadas com teores diferenciáveis de carbono orgânico (CASTRO FILHO et al., 1998; CORAZZA et al., 1999; BERTOL et al., 2004; ARGENTON et al., 2005; COSTA et al., 2008). Nessas condições a dinâmica da matéria orgânica no solo em sistema PD é alterada, interferindo na estruturação do solo. A manutenção da arquitetura dos poros pela permanência dos restos de raízes das culturas, a ação da meso e macrofauna na fragmentação dos resíduos e na formação das galerias, influi na aeração e na movimentação descendente de água, produzindo trocas mais intensas, contribuindo para melhorar a estruturação do solo no sistema PD (CASTRO FILHO et al., 1998).

Quadro 4 - Carbono orgânico total (COT), diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade de agregados (IEA) de um Argissolo Vermelho-Amarelo, nas camadas 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, em diferentes sistemas de manejo

Sistema de Manejo ⁽¹⁾	COT --- dag kg ⁻¹ ---	DMP ----- mm -----	DMG ----- mm -----	IEA --- % ---
0-5 cm				
MS	3,41 a*	2,73 a	2,35 a	96,12 a
PD	2,17 b	2,61 a	2,14 a	96,00 a
AD	1,44 d	1,94 b	1,27 b	92,30 b
AD+GP	1,59 cd	1,68 b	1,02 b	90,20 b
GP	1,68 c	2,02 b	1,37 b	92,52 b
CV (%) ⁽²⁾	4,81	7,08	11,12	1,50
5-10 cm				
MS	2,60 a	2,70 a	2,32 a	96,40 a
PD	1,50 b	2,34 ab	1,76 b	94,75 ab
AD	1,40 b	2,18 b	1,56 b	93,82 ab
AD+GP	1,49 b	2,00 b	1,38 b	92,82 b
GP	1,58 b	2,36 ab	1,81 ab	94,10 ab
CV (%)	5,72	7,77	13,55	1,58
10-20 cm				
MS	2,02 a	2,53 a	2,10 a	96,47 a
PD	1,32 b	2,29 ab	1,76 ab	95,92 ab
AD	1,23 b	2,07 b	1,41 b	93,15 d
AD+GP	1,34 b	2,16 ab	1,53 b	93,57 cd
GP	1,18 b	2,23 ab	1,66 ab	94,82 bc
CV (%)	9,73	8,15	13,05	0,73
20-40 cm				
MS	1,53 a	2,48 a	2,00 a	96,15 a
PD	1,02 b	2,34 a	1,79 a	95,78 ab
AD	0,87 b	2,22 a	1,65 a	94,92 ab
AD+GP	0,95 b	2,23 a	1,65 a	94,90 ab
GP	0,89 b	2,22 a	1,63 a	94,40 b
CV (%)	8,62	6,31	9,96	0,71

⁽¹⁾ MS: mata secundária, PD: plantio direto, AD: arado de disco, AD+GP: arado de disco + grade pesada e GP: grade pesada; ⁽²⁾ CV: coeficiente de variação; * Médias seguidas da mesma letra na coluna de variáveis e profundidades não diferem entre si pelo teste Tukey (<0,05).

Quadro 5 - Distribuição das classes de tamanho dos agregados de um Argissolo Vermelho-Amarelo, nas camadas 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, em diferentes sistemas de manejo

Sistema de Manejo ⁽¹⁾	Classes de tamanhos de agregados (mm)					
	4-2	2-1	1-0,50	0,50-0,25	0,25-0,105	<0,105
----- kg kg ⁻¹ -----						
0-5 cm						
MS	0,872 a*	0,067 b	0,010 b	0,080 c	0,005 b	0,038 b
PD	0,821 a	0,073 b	0,030 b	0,023 c	0,014 b	0,039 b
AD	0,516 b	0,181 a	0,103 a	0,076 ab	0,048 a	0,076 a
AD+GP	0,407 b	0,210 a	0,129 a	0,097 a	0,061 a	0,096 a
GP	0,550 b	0,182 a	0,088 a	0,066 b	0,040 a	0,074 a
CV (%) ⁽²⁾	10,58	17,19	25,83	28,66	28,76	21,46
5-10 cm						
MS	0,856 a	0,075 b	0,015 b	0,011 b	0,008 b	0,035 a
PD	0,694 ab	0,126 ab	0,059 ab	0,045 ab	0,025 ab	0,051 a
AD	0,618 b	0,156 a	0,078 a	0,055 a	0,032 ab	0,061 a
AD+GP	0,539 b	0,185 a	0,091 a	0,070 a	0,044 a	0,071 a
GP	0,704 ab	0,124 ab	0,060 ab	0,041 ab	0,023 ab	0,048 a
CV (%)	11,42	24,85	35,36	40,85	42,76	31,65
10-20 cm						
MS	0,766 a	0,136 a	0,029 b	0,021 c	0,013 c	0,035 c
PD	0,718 ab	0,133 a	0,058 ab	0,033 bc	0,017 bc	0,041 bc
AD	0,578 c	0,161 a	0,082 a	0,070 a	0,042 a	0,067 a
AD+GP	0,612 bc	0,161 a	0,078 a	0,055 ab	0,031 ab	0,063 a
GP	0,633 bc	0,162 a	0,075 a	0,047 abc	0,028 abc	0,055 ab
CV (%)	7,80	12,97	25,60	31,18	26,18	12,70
20-40 cm						
MS	0,746 a	0,126 a	0,046 a	0,028 a	0,017 a	0,037 b
PD	0,684 a	0,142 a	0,061 a	0,046 a	0,025 a	0,042 ab
AD	0,626 a	0,170 a	0,076 a	0,050 a	0,028 a	0,050 ab
AD+GP	0,626 a	0,182 a	0,068 a	0,046 a	0,027 a	0,051 a
GP	0,633 a	0,162 a	0,075 a	0,047 a	0,028 a	0,055 a
CV (%)	10,59	20,58	30,93	29,66	26,20	12,98

⁽¹⁾MS: mata secundária, PD: plantio direto, AD: arado de disco, AD+GP: arado de disco + grade pesada e GP: grade pesada; ⁽²⁾ CV: coeficiente de variação; * Médias seguidas da mesma letra na coluna de variáveis e profundidades não diferem entre si pelo teste Tukey (<0,05).

3.5. Condutividade hidráulica do solo em meio saturado em diferentes sistemas de manejo

A condutividade hidráulica (K_0) foi maior ($P<0,05$) na MS, em todas as camadas, não diferindo dos sistemas de manejo estudados apenas na camada 10-20 cm (Quadro 6). A não significância dos valores nessa profundidade pode ser atribuída ao alto coeficiente de variação (CV), assim como nos manejos PD, AD, AD+GP e GP, na profundidade 5-10 cm e, PD, AD e AD+GP, na profundidade 20-40 cm, concordando com COSTA et al. (2003) e AGUIAR (2008), os quais, ao avaliarem a K_0 em sistemas plantio direto e convencionais e agroflorestais, respectivamente, atribuíram aos altos

valores de CV serem responsáveis por não causar diferenças estatísticas. A K_0 é uma propriedade físico-hídrica do solo que apresenta elevada variabilidade em decorrência da variabilidade espacial (horizontal e vertical) inerente ao solo, típica das propriedades de movimentação tridimensional da água, bem como dos efeitos da coleta sobre a amostra obtida, que normalmente sofre alguma perturbação (SOUZA & ALVES, 2003).

Na camada 0-5 cm, a K_0 na MS foi cerca de 17 vezes maior quando comparado ao menor valor ($10,94 \text{ cm h}^{-1}$) verificado no sistema de manejo com AD. A baixa densidade do solo (D_s) (Figura 1), elevada macroporosidade (Quadro 3) e a elevada estabilidade de agregados observados (Quadro 4) justificam tal comportamento, uma vez que, estes atributos contribuem na boa estruturação do solo, favorecendo a condução da água (VIEIRA & KLEIN, 2007).

Analisando as camadas 0-5 e 5-10 cm, verifica-se um decréscimo acentuado da K_0 nos sistemas de manejo e na MS. Tal comportamento evidencia a presença de uma camada compactada nesta profundidade, uma vez que, os altos valores de D_s e a quase ausência da macroporosidade, exceto na MS e PD (Quadro 3), confirmam essa afirmativa. Avaliando a K_0 em um Latossolo Roxo ácrico submetido ao plantio direto, com e sem irrigação, comparado a condições naturais, KLEIN & LIBARDI (2002) concluíram que a K_0 é reduzida por meio de alterações na estrutura do solo, através do aumento da D_s , redução da porosidade total e alteração da distribuição do diâmetro dos poros.

A redução nos valores da K_0 com o aumento da profundidade se torna preocupante tanto no empoçamento, quanto no armazenamento da água no solo, uma vez que essa restrição manifestada principalmente na camada 5-10 cm, limita o volume de água armazenada em profundidade. A utilização de implementos de preparo de solo, como escarificadores, aumenta significativamente a capacidade de infiltração de água no solo, pois a escarificação é apontada como ferramenta para proporcionar a descompactação do solo por períodos pré estabelecidos (VIEIRA & KLEIN, 2007). Esses autores observaram a ocorrência de efeito residual por até 24 meses, de uma escarificação em um Latossolo Vermelho, contribuindo no aumento da condutividade hidráulica do solo saturado.

O incremento dos valores de K_0 no sistema PD, passando de $3,84 \text{ cm h}^{-1}$ da camada 5-10 cm para $6,43 \text{ cm h}^{-1}$ na camada 10-20 cm e $15,55 \text{ cm h}^{-1}$ na camada 20-40 cm, reflete diretamente no aumento de 20 % e quase 68 % da macroporosidade (P_{MA}) (Quadro 3), e diminuição de 4,5 % e 10,7 % da D_s nas respectivas camadas (Figura 1), nesse sistema de manejo. Ambos os atributos citados (D_s e P_{MA}) sob essas condições,

situam-se dentro dos níveis críticos estabelecidos por TAYLOR e ASHCROFT (1972), para um adequado desenvolvimento do sistema radicular, favorecendo o crescimento e desenvolvimento das culturas.

Quadro 6 - Condutividade hidráulica em solo saturado (K_0) de um Argissolo Vermelho-Amarelo, nas camadas 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, em diferentes sistemas de manejo

Camada	MS	PD	AD	AD+GP	GP	CV(%)
cm	----- cm h ⁻¹ -----					
0-5	190,79 a*	13,72 c	10,94 c	33,92 bc	59,56 b	30,52
5-10	39,25 a	3,84 b	3,56 b	2,22 b	3,04 b	92,39
10-20	21,14 a	6,43 a	14,16 a	17,78 a	2,26 a	127,61
20-40	20,53 a	15,55 ab	7,47 ab	4,42 ab	1,56 b	75,30

MS: mata secundária, PD: plantio direto, AD: arado de disco, AD+GP: arado de disco + grade pesada e GP: grade pesada; CV: coeficiente de variação; * Médias seguidas da mesma letra na linha de variáveis e profundidades, não diferem entre si pelo teste Tukey ($<0,05$).

3.6. Correlações estabelecidas entre as propriedades físicas e o carbono orgânico total em diferentes sistemas de manejo

Observa-se que a D_s se correlaciona negativamente ($P<0,05$) com a P_{MA} , P_T e K_0 nas duas camadas avaliadas (Quadros 7, 8). Esses resultados evidenciam a diminuição da capacidade de aeração do solo com o aumento da profundidade, afetando a infiltração da água. A correlação negativa observada entre D_s e os parâmetros DMG e DMP e a P_{MA} confirma o efeito da D_s na estabilidade estrutural do solo. O tráfego de máquinas e a ação de implementos de preparo de solo causam a desagregação do solo e aumentam a D_s , ocasionando uma camada compactada, no qual a restrição da infiltração de água e a penetração do sistema radicular são as principais limitações causadas no rendimento final das culturas (ARGENTON et al., 2005).

A correlação positiva observada ($P<0,05$) na K_0 com a P_{MA} , P_T , DMP, DMG e AG, na camada 5-40 cm, confirma a importância da estruturação do solo na condução da água dentro do perfil do mesmo. Ao contrário, a medida que aumentam os valores de D_s e P_{MI} , a K_0 diminui (correlação negativa a $P<0,05$). Já na camada 0-5 cm, por ser intensamente revolvida pelos efeitos do preparo, somente o incremento da P_{MA} e o DMG contribuem significativamente na condução da água no solo (K_0). O aumento da D_s reduziu ($P<0,05$) a P_{MA} e, conseqüentemente aumentou ($P<0,05$) a P_{MI} , provocando um decréscimo ($P<0,05$) na K_0 . Para KLEIN & LIBARDI (2002), esse fenômeno se deve ao fato de a água ficar retida nos microporos por efeito de capilaridade, sendo governada pelo potencial matricial.

Os coeficientes de correlação do COT com os valores dos parâmetros de agregação DMG, DMP e IEA foram positivos e significativos ($P < 0,05$) nas duas camadas estudadas. Castro Filho et al. (1998) e Wendling et al. (2005), ao examinarem Latossolos Vermelhos submetidos a diferentes manejos, também obtiveram boas correlações positivas entre esses atributos. Entre os parâmetros de agregação avaliados na camada 5-40 cm, o IEA, embora atingindo significância ($P < 0,05$), apresentou a menor correlação com o COT, concordando com WENDLING et al. (2005), ao qual atribuíram a inclusão de toda a argila dispersa durante o processo de agitação para o tamisamento, nos cálculos dessa variável, confirmando a correlação positiva ($P < 0,05$) observada para essa variável com a argila.

O COT apresentou correlações significativas ($P < 0,05$) tanto positivas, quanto negativas com todos os atributos correlacionados, exceto com a argila e K_0 na camada 0-5 cm, evidenciando a sua importância como componente estrutural do solo. A relação intrínseca do carbono orgânico com os atributos físicos do solo faz do mesmo ser considerado um eficiente indicador de qualidade do solo, pelo fato de ser sensível às alterações do manejo (DORAN & PARKIN, 1994).

Os teores de SI apresentam correlações positivas e significativas ($P < 0,05$) com D_s e P_{MI} e negativas e significativas ($P < 0,05$ e $P < 0,1$) com os parâmetros de agregados do solo (DMG, DMP e IEA) nas duas camadas analisadas, evidenciando a sua importância na composição estrutural do solo.

Quadro 7 - Correlações estabelecidas entre alguns atributos físicos e o carbono orgânico total, na camada 0-5 cm, em um Argissolo Vermelho-Amarelo, em diferentes sistemas de manejo

Variáveis	P _{MI}	P _{MA}	P _T	DMG	DMP	IEA	AG	AF	SI	ARG	K ₀	COT
----- 0-5 cm -----												
Ds	0,64*	-0,91*	-0,91*	-0,69*	-0,66*	-0,51*	-0,15	-0,40	0,48*	-0,13	-0,31	-0,80*
P _{MI}	-	-0,80*	-0,51*	-0,55*	-0,46*	-0,74*	-0,48*	0,59*	0,68*	-0,01	-0,26	-0,75*
P _{MA}		-	0,92*	0,69*	0,62*	0,65*	0,19	0,44*	-0,62*	0,19	0,28*	0,84*
P _T			-	0,62*	0,58*	0,44**	-0,03	0,27	-0,42**	0,24	0,22	0,72*
DMG				-	0,99*	0,77*	0,15	0,38**	-0,67*	-0,27	0,07*	0,66*
DMP					-	0,69*	0,14	0,38**	-0,60*	0,22	0,48	0,60*
IEA						-	0,22	0,32	-0,71*	-0,27	0,03	0,60*
AG							-	0,64*	-0,15	-0,73*	-0,01	0,20
AF								-	-0,37	-0,46*	0,37	0,56*
SI									-	-0,52*	-0,40**	-0,75*
ARG										-	0,18	0,24
K ₀											-	0,32

Ds: densidade do solo, P_{MI}: microporosidade, P_{MA}: macroporosidade, P_T: porosidade total, DMG: diâmetro médio geométrico, DMP: diâmetro médio ponderado, IEA: índice de estabilidade de agregados, AG: areia grossa, AF: areia fina, SI: silte, ARG: argila, K₀: condutividade hidráulica em meio saturado e COT: carbono orgânico total. *, ** Significativos a P <0,05 e P <0,10, respectivamente.

Quadro 8 - Correlações estabelecidas entre alguns atributos físicos e o carbono orgânico total, na camada 5-40 cm, em um Argissolo Vermelho-Amarelo, em diferentes sistemas de manejo

Variáveis	P _{MI}	P _{MA}	P _T	DMG	DMP	IEA	AG	AF	SI	ARG	K ₀	COT
----- 5- 40 cm -----												
Ds	0,75*	-0,92*	-0,92*	-0,35*	-0,31*	-0,13	-0,33*	-0,15	0,52*	0,01	-0,71*	-0,69*
P _{MI}	-	-0,88*	-0,68*	-0,29*	-0,23*	-0,17	-0,51*	-0,37*	0,62*	0,16	-0,58*	-0,71*
P _{MA}		-	0,94*	0,37*	0,31*	0,21**	0,34*	0,19**	-0,62*	0,02	0,66*	0,69*
P _T			-	0,37*	0,33*	0,21**	0,18	0,04	-0,52*	0,14	0,63*	0,59*
DMG				-	0,99*	0,86*	0,24*	0,12	-0,57*	0,09	0,32*	0,55*
DMP					-	0,85*	0,22*	0,12	-0,51*	0,07	0,28*	0,51*
IEA						-	0,06	-0,32	-0,52*	0,24*	0,12	0,27*
AG							-	0,60*	-0,25*	-0,82*	0,38*	0,62*
AF								-	-0,24*	-0,63*	0,19	0,34*
SI									-	-0,29*	-0,44*	-0,61*
ARG										-	-0,06	-0,25*
K ₀											-	0,75*

Ds: densidade do solo, P_{MI}: microporosidade, P_{MA}: macroporosidade, P_T: porosidade total, DMG: diâmetro médio geométrico, DMP: diâmetro médio ponderado, IEA: índice de estabilidade de agregados, AG: areia grossa, AF: areia fina, SI: silte, ARG: argila, K₀: condutividade hidráulica em meio saturado e COT: carbono orgânico total. *, ** Significativos a P <0,05 e P <0,10, respectivamente.

3.7. Análise micromorfológica do solo em diferentes sistemas de manejo

De maneira geral, todos os índices: alongamento (Al), rugosidade (Ru), arredondamento (Ard) e as variáveis: área (Ar), perímetro (Pm) e diâmetro Feret (DF) foram significativamente ($P < 0,05$) maiores na MS. Contudo não houve diferença significativa ($P < 0,05$) entre os dois sistemas de preparo para os valores de Ar, Pm e outros índices avaliados (Quadro 9). Para todas as variáveis, o PD apresentou tendência a maiores valores em relação ao manejo com AD+GP, concordando com OLSZEWSKI et al., (2004), que ao avaliarem macroagregados em diferentes sistemas de manejo, em Latossolo Vermelho, obtiveram resultados semelhantes. Tais resultados são consistentes com o fato de que este sistema de manejo (PD) causa menor dano à estrutura do solo comparado à aração e gradagem, onde há maior revolvimento, com conseqüente quebra e pulverização dos agregados.

Supõe-se que sistemas de manejo que promovam menor revolvimento do solo devem apresentar maiores valores para a variável perímetro, devido à maior proporção de agregados de tamanho e rugosidade externa maiores, mas o resultado observado não corroborou o esperado. Supõe-se também que sistemas que promovem menor revolvimento do solo devem apresentar menores valores para a variável alongamento, em razão da menor quebra e posterior tendência do agregado à circularidade.

Para os três índices avaliados, o PD mostrou tendência a valores menores comparado ao manejo de solo sob intenso revolvimento com aração e gradagem (AD+GP), sendo diferente ($P < 0,05$) para o índice Al. Para o índice Ard, os sistemas de manejo que provocam menor revolvimento do solo devem apresentar menores valores para a variável arredondamento, pois este é dependente da medida de perímetro. Logo, maiores valores de arredondamento deverão ser encontrados para os agregados provenientes de sistemas de manejo mais agressivos à estrutura, pois estes tenderão a perder a rugosidade da superfície externa, diminuindo, assim, o valor do perímetro, concordando com OLSZEWSKI et al. (2004).

Freitas Melo et al. (2008) estudando a micromorfologia de agregados de classes diferentes, em Latossolo Bruno e Vermelho-Amarelo, concluíram que há efeito da qualidade da argila na morfologia externa e tamanho dos agregados. Segundo os autores, para um determinado atributo morfológico (área, perímetro, arredondamento, diâmetro de Feret e compactidade), o efeito dos teores dos minerais da fração argila para apenas algumas classes de agregados pode ser atribuído à influência de outros fatores importantes na formação e definição dos agregados do solo: fatores ambientais, manejo

do solo, influência da planta e propriedades do solo, como textura, composição mineral, teor de carbono orgânico, processos pedogenéticos, atividade microbiana, íons trocáveis e umidade.

Quadro 9 - Valores de perímetro, comprimento do maior eixo, comprimento do menor eixo, diâmetro de Feret, área, alongamento, rugosidade e arredondamento de agregados de um Argissolo Vermelho-Amarelo, em diferentes sistemas de manejo

Sistema de manejo ¹	Pm	CMA	CME	DF	Ar	Al	Ru	Ard
	----- mm -----				mm ²			
MS	18,41 a	2,86 a	1,77 a	5,79 a	26,96 a	0,95 a	0,71 a	0,98 a
PD	14,04 b	2,74 a	1,73 a	4,33 b	15,79 b	0,64 b	0,99 a	0,94 b
AD+GP	12,27 b	2,24 a	1,34 a	3,83 b	11,84 b	0,89 a	1,10 a	0,96 ab
CV	22,21	39,70	52,87	21,87	52,87	35,74	20,45	5,00
DP	3,31	0,64	9,62	1,01	9,62	0,29	0,19	0,05

Pm: perímetro, CMA: comprimento do maior eixo, CME: comprimento do menor eixo, DF: diâmetro Feret, Ar: área agregado, Al: alongamento, Ru: rugosidade, Ard: arredondamento, CV: coeficiente de variação, DP: desvio padrão, ¹MS: mata secundária, PD: plantio direto, AD+GP: arado disco + grade pesada. Médias seguidas da mesma letra na coluna de variáveis, não diferem entre si pelo teste Tukey (<0,05).

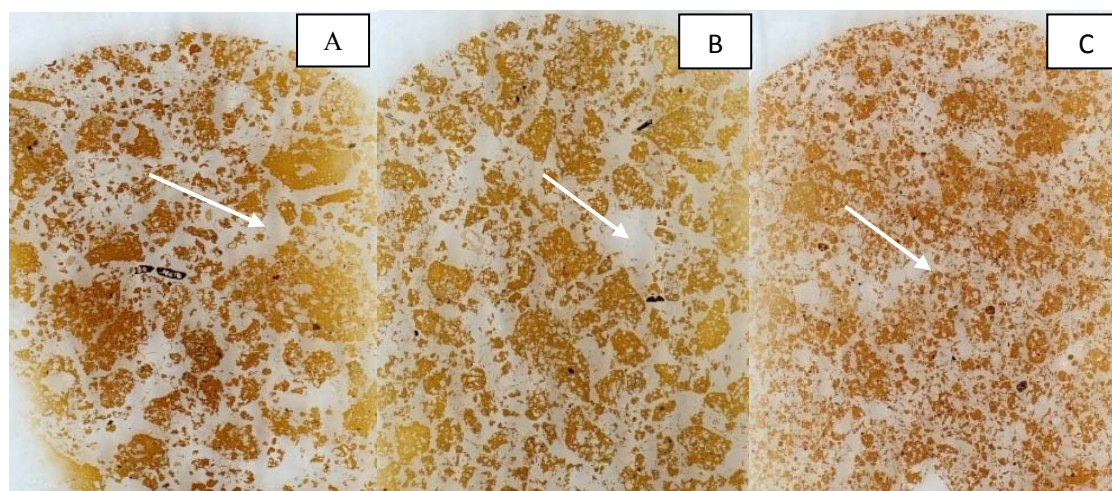


Figura 3 - Fotografias das lâminas scaneadas evidenciando a porosidade estrutural entre agregados; A: mata secundária; B: plantio direto; C: arado de disco + grade pesada.

A MS, além de apresentar a maior macroporosidade ($P < 0,05$) na camada superficial, mostrou uma rede de poros mais bem distribuídos (Figura 3A), o que demonstra melhor percolação de água nessa camada analisada (Quadro 6). O PD (Figura 3B) se assemelha muito da MS (figura 3A) se tratando de conexão e distribuição dos poros. A boa estruturação do solo, resultante principalmente da maior

agregação desse solo em relação aos preparos convencionais (Quadros 4, 5) justifica tal comportamento.

O sistema de preparo AD+GP (Figura 3C) apresentou predomínio de descontinuidade de poros, fato esse possivelmente deve-se a desestruturação do solo causado pela fragmentação e quebra dos agregados, devido ao revolvimento causado pelos implementos agrícolas. Schaefer et al. (2001) analisado a micromorfologia desses solos, concluíram ser o sistema de preparo PD o que melhor apresenta a distribuição e conexão entre os poros. Para os autores, a superioridade da macroporosidade associada a boa estruturação do solo sob PD foi o fator determinante para permitir a interconectividade entre os poros.

4. CONCLUSÕES

O cultivo do solo causou diminuição da qualidade física do solo em relação à mata secundária. O sistema plantio direto apresentou potencial de recuperação dessas em relação ao sistema convencional após 23 anos de implantação.

Na camada superficial, a densidade do solo é maior no plantio direto do que no sistema convencional e mata secundária. Nessa camada o plantio direto reduziu o volume de macroporos e aumentou os microporos, refletindo na redução da porosidade total.

O sistema plantio direto recuperou a estabilidade estrutural dos agregados do solo nos primeiros 5 cm de profundidade, sendo semelhante às condições de equilíbrio natural representadas pela mata secundária.

Com o incremento da profundidade, o sistema plantio direto recuperou a P_{MA} , P_T e D_s , atingindo valores abaixo dos níveis críticos estabelecidos para as condições ideais ao desenvolvimento do sistema radicular das culturas.

Todos os índices de estabilidade de agregados apresentaram correlações positivas com o teor de COT, porém os coeficientes de correlação para IEA foram menores em relação aos demais.

A K_0 foi afetada pela D_s e P_{MI} , apresentando correlações negativas significativas.

A análise micromorfológica por imagens mostrou-se sensível a detecção de mudanças na morfologia dos agregados do solo, sendo uma ferramenta promissora para estudos da estrutura do solo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, M.I. **Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais**. Viçosa: UFV, 2008, 79 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E.; OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso de fósforo remanescente. Viçosa, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 52:27-32, 2000.(Boletim Informativo).

ARAÚJO, M.A.; TORMENA, C.A.; INOUE, T.T.; COSTA, A.C.S. Efeitos da escarificação na qualidade física de um Latossolo Vermelho distroférico após treze anos de semeadura direta. **Rev. Bras. Ci. Solo**, 28: 459-504, 2004.

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

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

CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Rev. Bras. Ci. Solo**, 19:121-126, 1995.

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. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v.22, p.527-538, 1998.

CASTRO, S.S. Impregnação de amostras de solo para confecção de lâmina delgada. Boletim Informativo: **Soc. Bras. Ci. Solo**, 1985.

COLLARES, G.L.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. & KAISER, D.R. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijão num Argissolo. **Pesq. Agropec. Bras.**, 41:1663-1674, 2006.

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. **Rev. Bras. Ci. Solo**, 23:425-432, 1999.

COSTA, F.S.; BAYER, C.; ZANATTA, J.A. & MIELNICZUK, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Rev. Bras. Ci. Solo**, 32:323-332, 2008.

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

CRUZ, A.C.R.; PAULETTO, E.A.; FLORES, C.A. & SILVA, J.B. Atributos físicos e carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob sistemas de manejo. **Rev. Bras. Ci. Solo**, 27:1105-1112, 2003.

DEFELIPO, B.V.; RIBEIRO, A.C. **Análise química do solo**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1981. 17 p. (Boletim Extensão, 29).

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, **Soil Sci. Soc. Am.**, 1994. p.3-22. (Special publication, 35).

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

EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, EMBRAPA 2006. 306 p.

FREITAS MELO, V.; MOURA, R.; TOLEDO, F.H.; LIMA, V.C. & CHIDIN, A.A. Morfologia de agregados de Latossolos Bruno e Vermelho do estado do Paraná, avaliada por imagens obtidas em *Scanner*. **Rev. Bras. Ci. Solo**, 32:85-99, 2008.

KEMPER, W.D.; CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A. (ed.) Methods of soil analysis. **Am. Soc. of Agr.**, 1965. p. 449-510.

KLEIN, V.A. & LIBARDI, P.L. Condutividade hidráulica de um Latossolo Roxo, não-saturado, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Ciência. Rural**, 32:945-953, 2002.

LEITE, L.F.C. **Compartimentos e dinâmica da matéria orgânica do solo sob diferentes manejos e sua simulação pelo modelo century**. Viçosa: UFV, 2002, 146p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

LIMA, C.L.R.; PILLON, C.N., SUZUKI, L.E.A.S. & CRUZ, L.E.C. Atributos físicos de um planossolo háplico sob sistemas de manejo comparados aos do campo nativo. **Rev. Bras. Ci. Solo**, 32:1849-1955, 2008.

- MURPHY, C.P. **Thin section preparation of soils and sediments**. Berkhamsted, A. B. Academic Publishers.1986. 149 p.
- OLSZEWSKI, N.; COSTA, L.M.; FERNANDES FILHO, E.I.; RUIZ, H.A.; ALVARENGA, R.C. & CRUZ, J.C. Morfologia de agregados do solo avaliada por meio de análise de imagens. **Rev. Bras. Ci. Solo**, 28:901-909, 2004.
- REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. & BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência Ambiente**, 27:29-48, 2003.
- RUIZ, H.A. Dispersão física do solo para análise granulométrica por agitação lenta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife - PE. **CD-ROM**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005a.
- RUIZ, H.A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). **Rev. Bras. Ci. Solo**, 29:297-300, 2005b.
- SCHAEFER, C.E.G.R.; SOUZA, C.M.; VALLEJOS, F.J.M.; VIANA, J.H.M.; GALVÃO, J.C.C. & RIBEIRO, L.M. Características da porosidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes sistemas de preparo de solo. **Rev. Bras. Ci. Solo**, 25:765-769, 2001.
- SILVA, M.A.S.; MAFRA, A.L.; ALBUQUERQUE, A.; ROSA, J.; BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um argissolo vermelho sob distintos sistemas de uso e manejo. **Rev. Bras. Ci. Solo**, 30:329-337, 2006.
- SKOPP, J.; JAWSON, M.D. & DORAN, J. W. Steady-state aerobic microbial activity as a function of soil water content. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 54:1619-1625, 1990.
- SOUZA, Z.M. & ALVES, M.C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de Cerrado, sob diferentes usos e manejos. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Amb.**, 7:18-23, 2003.
- TAYLOR, S.A. & ASHCROFT, G.L. **Physical edaphology – The physics of irrigated and nonirrigated soils**. San Francisco, W.H. Freeman, 1972. 532 p.
- TORMENA, C.A.; FRIEDRICH, R.; PINTO, J.C.; COSTA, A.C.S.; FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Rev. Bras. Ci. Solo**, 28:1023-1031, 2004.
- VIEIRA, M.L. & KLEIN, V.A. Propriedades físico-hídricas de um latossolo vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. **Rev. Bras. Ci. Solo**, 31:1271-1280, 2007.
- WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E.S. & NEVES, J.L.N. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesq. Agropec. Bras.**, 40:487-494, 2005.
- UFPEL. WINSTAT. **Sistema de Análise Estatística para Windows, Versão 2.0**. Pelotas, RS, 2001.

YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. Communications in **Soil Science and Plant Analysis**, 19: 1467-1476, 1988.

CAPÍTULO 2

ESTOQUES E TEORES TOTAIS DE CARBONO ORGÂNICO DE UM ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO COM DIFERENTES MANEJOS, LOCALIZADO NA ZONA DA MATA MINEIRA

1. INTRODUÇÃO

O solo é um componente essencial no estoque global de carbono (C), contendo 3,5% das reservas de C da terra, comparado a 1,7 % na atmosfera, 8,9 % nos combustíveis fósseis, 1,0 % na biota e 84,9 % nos oceanos (LAL et al., 1995). Por isso, em decorrência do aumento de emissão de gases de efeito estufa (CO₂, N₂O, CH₄ e CFC), tem sido grande o interesse em avaliar o comportamento dos solos quanto à sua capacidade de funcionar como fonte ou dreno de C em diversas condições de manejo, com intensidade de preparo e sistemas de sucessão e rotação de culturas distintas (CORAZZA et al., 1999).

Em solos com cobertura vegetal natural, o C orgânico encontra-se em equilíbrio dinâmico, mantendo teores praticamente constantes com o tempo. Essa condição é alterada quando o solo é submetido ao cultivo e, um novo equilíbrio é atingido num nível que varia em razão das características do sistema de manejo adotado (D'ANDRÉA et al., 2004). Sistemas de manejo que aumentem a adição de resíduos vegetais e a retenção de C no solo se constituem em alternativas importantes para aumentar a capacidade de dreno de C-CO₂ atmosférico e mitigação do aquecimento global (COSTA et al., 2008).

A substituição de ecossistemas naturais por agroecossistemas com culturas, propicia o declínio no conteúdo de C do solo, em função da redução no aporte, perdas

por erosão e do aumento da decomposição da matéria orgânica (LEITE, 2002). A diminuição do aporte não é apenas em função da produtividade total do agroecossistema ser menor do que a vegetação natural, mas principalmente em virtude de uma menor fração da produção primária ocorrer abaixo da superfície e, uma maior parte da produção acima da superfície ser removida pela colheita, queima de combustíveis fósseis ou mesmo, alimentação animal. Os resíduos vegetais são normalmente mais facilmente decomponíveis do que a liteira presente sob a vegetação natural. A ciclagem de nutrientes torna-se menos fechada, resultando em perdas por lixiviação, erosão e colheita. Além disso, a fauna do solo torna-se menos diversa e com menor biomassa (LEITE, 2002).

Em agroecossistemas convencionais, com revolvimento intensivo do solo, o decréscimo da matéria orgânica do solo e consequente aumento na emissão de CO₂ são consideráveis. A partir disso, o processo de degradação química, física e biológica do solo desenvolve-se, afetando negativamente a produtividade das culturas. Em regiões tropicais, onde altas temperaturas e umidades incrementam a degradação do solo, o desenvolvimento de sistemas de manejo conservacionistas pode reverter esses processos, propiciando equilíbrio com recuperação e até mesmo com acumulação em relação ao equilíbrio natural (Florestas, campos nativos) sendo ecologicamente vantajoso, do ponto de vista da diminuição do CO₂ da atmosfera, reduzindo-se o efeito estufa e os impactos das atividades agrícolas no ambiente (CORAZZA et al., 1999).

Entre os sistemas de manejo de solo, o plantio direto é o mais conservacionista, pois, ao contrário dos sistemas que envolvem a aração, gradagem e escarificação, esse sistema interfere muito pouco na estrutura, preservando ao máximo os resíduos culturais, de modo que pelo menos 30% da superfície do solo seja coberta por palha. Nos últimos anos, tem sido ressaltada a contribuição do plantio direto no aumento de estoques C orgânico e na diminuição da emissão do CO₂ na atmosfera. Os dados apresentados por DONIGIAN et al. (1994) ilustram os efeitos dos sistemas de preparo de solo sobre os estoques de matéria orgânica, na medida em que representa as perdas históricas de carbono do solo em área de milho dos EUA, no período de 1907 (ano de retirada da vegetação nativa e início do cultivo do solo) a 1990. As informações coletadas por esses autores indicam um perda sistemática de carbono no período de 1907 a 1950. Tal época que coincide com a adoção de práticas intensivas de revolvimento do solo, a ponto de se ter notado um decréscimo de 47% no estoque de C presente ao final do período. Com a adoção do sistema plantio direto, no início da década de 60, as perdas de C foram contidas e, a partir da década de 70, houve um

aumento do seqüestro de carbono, sendo notado no ano de 1990, estoque de C no solo correspondente a 61% daquele presente no início do cultivo da área de milho estudada.

Kern & Johnson (1993), ao simularem os teores de carbono no solo e a emissão de CO₂ por queima de combustíveis fósseis em 3 cenários de adoção de plantio direto nos Estados Unidos até o ano de 2020, previram que no cenário 1, ou seja, naquele em que a taxa de adoção de plantio direto no ano de 1993 (27%) seria mantida, quase 200 milhões de toneladas de C seriam perdidos. Nos cenários 2 e 3, em que as taxas de adoção do plantio direto seriam, respectivamente, de 57 e 76%, ou seja, um predominância desse sistema de preparo sobre o convencional, as perdas de C para a atmosfera seriam diminuídas, a ponto de no cenário de maior adoção do plantio direto as quantidades de C perdidas serem aproximadamente a metade da prevista para o cenário 1. Além disso, no cenário em que, no ano de 2020, 76% da área plantada nos EUA estariam sob o sistema de plantio direto, as quantidades de C sequestradas no solo seriam incrementadas em quase 400 milhões de toneladas.

No Brasil, onde já há uma área de mais de 25,5 milhões de hectares sob plantio direto, segunda a Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha (FBPDP), são vários os estudos que analisam as relações entre os sistemas de preparo do solo e os estoques de carbono orgânico. Entre esses, há um destaque para as investigações conduzidas por CASTRO FILHO et al. (1998), CORAZZA et al. (1999) e COSTA et al. (2008), que tratam dos aumentos nos teores de C no plantio direto, em relação a áreas com revolvimento do solo. A análise dos dados levantados por esses autores mostra que o incremento nos teores de C em área sob plantio direto se concentra na camada superficial do solo, de 0 a 5 cm de profundidade. Nas camadas mais profundas, há uma inversão, ou seja, os teores de C nas áreas com revolvimento do solo são maiores, em relação à área sem preparo.

Muito mais importante que avaliar os teores de carbono, é medir os estoques de C, no sentido de identificar se a ausência de revolvimento do solo, em diferentes agroecossistemas, aumenta ou não o seqüestro de carbono. No cerrado brasileiro, CORAZZA et al. (1999) constataram um acréscimo de 21,4 Mg ha⁻¹ de carbono em solo sob rotação de culturas e plantio direto por 15 anos, em relação à área com mesmo tipo de solo sob aração. Bayer et al. (2000b) verificaram que o maior estoque de carbono ocorreu na área onde se combinou a adoção de plantio direto com o uso de rotação de culturas de alto retorno de palhada ao solo. Esses autores observaram que, na profundidade de solo de 0 a 25 cm, os estoques de carbono no tratamento com plantio direto e cultivo de quatro espécies vegetais em rotação foram 12 Mg ha⁻¹ maior do que o

estoque de C determinado em área de solo arado e cultivado com aveia e milho. Investigações conduzidas por COSTA et al. (2008) na depressão central do RS, também constataram um balanço positivo de 2,7 Mg ha⁻¹ de C no solo na combinação da cultura do milho consorciada com ervilhaca sob sistema plantio direto após 18 anos de implantação. Os referidos autores concluíram que os estoques de carbono se mostram diretamente dependentes do aporte de resíduos vegetais e, que a adoção do plantio direto acelera o acúmulo de carbono no solo.

A adoção do plantio direto afeta também outros processos ligados ao solo. Um deles é a erosão, que é reduzida em solo não revolvido, em função da cobertura oferecida pela palhada. A diminuição das perdas de solo por erosão tem conseqüências diretas sobre os estoques de C do solo. Em estudo que avaliou a influência de diferentes sistemas de cultivo sobre os níveis de matéria orgânica perdidos em sedimento erodido, HERNANI et al. (1999) verificaram que o plantio direto foi o sistema mais eficaz no controle da erosão, perdendo as menores quantidades de nutrientes e matéria orgânica. Nesse estudo, as perdas de matéria orgânica por erosão hídrica superficial variaram de 29 kg ha⁻¹ ano⁻¹, na área sob plantio direto a 216 kg ha⁻¹ ano⁻¹, no sistema menos conservacionista, ou seja, na área sem cobertura vegetal onde se usou arado de discos e grade niveladora.

Apesar de a matéria orgânica do solo aumentar sob sistemas de plantio direto, com elevado aporte de resíduos, deve-se considerar que este aumento também depende de outros fatores, tais como, clima, principalmente temperatura e precipitação (COSTA et al., 2008), textura e mineralogia do solo (OLIVEIRA et al., 2008). O aumento no conteúdo de C pode ser beneficiado em solos de textura fina e mal drenados e, em locais onde baixas temperaturas dificultam a decomposição da matéria orgânica (COSTA et al., 2008). Os sistemas de manejo necessitam então ser investigados regionalmente sob diferentes condições de clima e solo, otimizando o conhecimento sobre o potencial do manejo conservacionista e os efeitos na mudança global.

Os objetivos deste estudo foram avaliar os impactos e estimar a contribuição de sistemas de manejo em plantio direto e convencional sobre os estoques totais de carbono de um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a cultivos num experimento de longa duração na Zona da Mata mineira.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização e descrição da área de estudo

O estudo foi realizado no ano agrícola de 2008, em experimento conduzido a partir de 1985, localizado na Estação Experimental da Universidade Federal de Viçosa, no município de Coimbra, MG. A Estação Experimental está situada a 20° 45' S e 42° 51' W, com altitude de 700 m. Apresenta ainda temperatura média anual de 19 °C e precipitação média anual de 1400 mm concentrada entre os meses de outubro a março, com média anual de umidade relativa do ar de 85%. O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura argilosa (EMBRAPA, 2006) (LEITE, 2002).

Este experimento faz parte de uma linha de pesquisa dos Departamentos de Fitotecnia e Solos, visando identificar sistemas de produção adaptados à conservação do solo. Anteriormente à instalação do experimento, a área encontrava-se sob condições de vegetação natural, até a década de 30, sendo posteriormente cultivada por cerca de 50 anos com culturas de subsistência, como o milho e o feijão. Em 1985 foi realizada a adequação da área visando à implantação dos sistemas de manejo a serem estudados. A adequação constou da correção da acidez do solo com aplicação de 4 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico e da fertilidade com aplicações anuais diferenciadas ao longo de 23 anos. A adubação aplicada durante o período variou conforme as exigências de cada cultura, sendo as quais para o milho: 400 kg ha⁻¹ de fertilizantes na forma de NPK, fórmula 4-14-08 (14, 49 e 28 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente, na forma de sulfato de amônio, superfosfato simples e cloreto de potássio) na semeadura, e 40 kg ha⁻¹ de N, na forma de uréia, em cobertura; feijão: 350 kg ha⁻¹ de NPK, fórmula 4-14-08, na semeadura, e 20 kg ha⁻¹ de N, na forma de uréia, em cobertura; trigo: 350 kg ha⁻¹ de NPK, fórmula 4-14-08, na semeadura, e 20 kg ha⁻¹ de N na forma de sulfato de amônio,

em cobertura; e soja: 350 kg ha⁻¹ da mistura de 300 kg de superfosfato simples para 50 kg de cloreto de potássio, na semeadura.

Durante o período experimental (1985-2008), a área foi submetida em média a um preparo de solo por ano e cultivada sempre com a cultura do milho, exceto nos períodos de 1986-1987, 1989-1990 e de 2005-2006, com a cultura do feijão; 1995-1998, com as culturas de soja e trigo. Para todas as culturas realizaram-se cultivos anuais, procedendo o plantio e a colheita entre os meses de outubro a março (período das “águas”), enquanto que nos demais meses do ano, as áreas permaneciam sob pousio, exceto nos períodos de 1996-1998 e os anos 2001, 2003 e 2008, nos quais realizaram-se os cultivos de trigo, feijão, soja e milho, respectivamente, nos meses de janeiro a março (período das “águas”). Em todos esses anos, os tratamentos, a distribuição das parcelas e o delineamento experimental permaneceram os mesmos desde a implantação.

As operações de controle das plantas daninhas foram feitas preferencialmente com herbicidas. Desde a instalação do experimento até o ano agrícola 1999 foram utilizadas misturas dos herbicidas glyphosato e 2,4-D nas operações de dessecação das plantas daninhas. Após esse período passou a ser utilizado apenas o glyphosato. Os herbicidas aplicados em pós-emergência variaram de acordo com a cultura, sendo a atrazina o mais empregado.

2.2. Procedimento experimental e tratamentos

O experimento constou de quatro sistemas de preparo, dispostos no delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. As unidades experimentais apresentam dimensões de 14 m de comprimento e 8 m de largura separadas entre si por uma rua de 5 m. Os tratamentos estudados foram os seguintes sistemas de manejo:

1. Plantio direto (PD) – solo revolvido apenas ao longo das linhas de plantio, sendo, por ocasião da semeadura, sulcado com semeadora-adubadora de tração motorizada.
2. Arado de disco (AD) – utilizou-se arado de discos fixo, com três discos, de tração motorizada, em uma única aração, com profundidade de 20-25 cm.
3. Arado de disco+ Grade pesada (AD+GP) – única gradagem, com grade pesada, de 20 discos, sendo 10 rugosos e 10 lisos, para trituração dos restos vegetais e

posteriormente uma única aração com arado de discos fixo, com três discos, de tração motorizada, com profundidade de 20-25 cm, para incorporação dos resíduos vegetais.

4. Grade Pesada (GP) – duas gradagens, com grade pesada de 20 discos, sendo 10 rugosos e 10 lisos, de tração motorizada, com profundidade de 10-15 cm.

À exceção do tratamento plantio direto, todos os demais receberam duas gradagens leves, com grade de 28 discos, para destorroamento e nivelamento do terreno.

Uma área sob Mata Atlântica Secundária (MS), adjacente ao experimento (distante aproximadamente 500 m), com mesmo tipo de solo, também foi estudada, sendo utilizada como referência. Nesta área foi definido, no terço médio, um transecto de aproximadamente 50 m, no qual delimitaram-se quatro áreas, para representar as quatro unidades experimentais com dimensões de 8 m de largura e 14 m de comprimento, representados em forma de blocos, respeitando a mesma representação dos tratamentos da área do experimento para obtenção das amostras.

2.3. Amostragem do solo

A amostragem do solo foi feita em agosto de 2008, no final do estágio de maturação da cultura do milho, mediante auxílio de pá-de-corte. Em cada tratamento foram amostradas quatro camadas nas entre linhas da cultura: 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm de profundidade. Para cada camada, cinco amostras deformadas foram obtidas que, depois de homogeneizadas, compuseram uma amostra composta. Desta forma, considerando os cinco tratamentos, os quatro blocos do experimento e da mata secundária demarcada e, as quatro profundidades, foram coletados 80 amostras compostas. As amostras foram secas ao ar (TFSA), destorroadas e passadas em peneira de malha de 2 mm, nas quais foram determinadas a composição granulométrica, argila dispersa em água, grau de flocculação, análise química de rotina e carbono orgânico total. Para determinar o carbono orgânico em classes de agregados, uma parte das amostras coletadas foi preparada e destorroadas com as mãos, tomando o cuidado para não destruir os agregados. Na seqüência estas foram tamisadas com peneiras de 4 e 2 mm, sendo que os agregados que passaram pela maior peneira e retidos pela menor, foram os utilizados para análise. Para determinar a densidade do solo, foi coletado uma amostra indeformada no centro da unidade experimental, em cada uma das quatro

profundidades avaliadas, em todos os tratamentos e nos quatro blocos, mediante auxílio de anéis volumétricos com abertura de 5 cm de diâmetro e 5cm de altura.

2.4. Caracterização química do solo

As características químicas do solo estudado encontram-se no Quadro 1.

Quadro 1 - Características químicas de um Argissolo Vermelho-Amarelo com mata secundária e diferentes sistemas de manejo, Coimbra, MG⁽¹⁾

Sistema de manejo	pH (H ₂ O)	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	T	V	m	P _{rem}
		mg dm ⁻³				cmol _c dm ⁻³				%	mg L ⁻¹	
0-5 cm												
MS	4,41	2,5	59,0	6,2	0,25	0,16	1,61	11,1	11,7	49,3	0,0	22,5
PD	5,49	13,1	149,0	9,1	3,00	1,20	0,00	4,7	9,4	49,3	0,0	29,5
AD	4,73	19,5	143,0	7,7	1,61	0,52	0,22	5,2	7,7	26,3	7,8	27,4
AD+GP	4,85	18,9	139,5	6,2	1,48	0,48	0,20	5,6	7,9	29,8	8,0	27,0
GP	4,96	25,2	155,0	6,7	1,69	0,59	0,17	5,4	8,1	37,9	5,8	29,0
5-10 cm												
MS	4,30	0,6	48,5	6,7	0,01	0,04	1,56	10,3	21,9	1,9	88,5	21,9
PD	4,98	28,9	94,3	6,6	1,49	0,54	0,29	5,8	27,9	28,4	11,2	27,9
AD	4,86	17,1	107,8	5,7	1,59	0,49	0,17	4,9	26,4	32,4	6,5	26,4
AD+GP	4,91	12,7	112,8	5,4	1,55	0,49	0,22	5,1	22,9	32,1	8,7	22,9
GP	4,94	21,0	107,8	6,9	1,61	0,52	0,17	5,5	27,3	30,9	6,5	27,3
10-20 cm												
MS	4,30	0,3	43,3	7,2	0,00	0,03	1,42	8,6	8,8	1,9	89,4	19,4
PD	4,77	17,5	63,5	5,9	0,98	0,28	0,60	5,9	7,3	19,9	29,6	25,6
AD	5,03	10,9	78,5	5,9	1,57	0,46	0,19	4,8	7,1	32,0	7,8	27,1
AD+GP	4,66	15,9	97,0	5,9	1,51	0,45	0,19	5,1	7,3	30,6	8,3	27,8
GP	4,82	9,2	63,8	5,4	1,24	0,33	0,27	4,8	6,6	26,7	13,0	26,9
20-40 cm												
MS	4,40	1,8	31,0	6,2	0,00	0,00	1,25	6,7	6,8	1,8	91,9	13,4
PD	4,71	3,3	53,5	6,4	1,11	0,21	0,46	4,6	6,1	24,6	23,7	23,8
AD	5,02	1,5	43,5	5,2	1,47	0,31	0,10	3,6	5,5	35,0	4,7	21,4
AD+GP	4,93	2,4	59,5	5,7	1,41	0,35	0,17	4,0	5,9	33,2	8,3	23,4
GP	4,93	0,6	46,0	4,4	1,32	0,23	0,12	3,7	5,4	31,3	6,4	24,5

¹(pH: 1:2,5; H+Al: Extrator Ca(OAc)₂ 0,5 mol L⁻¹ pH 7,0; Ca, Mg e Al Extrator KCl 1 mol L⁻¹; K, P e Na: Extrator Mehlich-1(DEFELIPO & RIBEIRO, 1981); P_{rem} (ALVAREZ V. et al., 2000)); T: capacidade de troca catiônica total; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio; P_{rem}: fósforo remanescente; MS: mata secundária; PD: plantio direto; AD: arado de disco; AD+GP: arado de disco + grade pesada; GP: grade pesada.

2.5. Composição granulométrica, argila dispersa em água, densidade do solo e grau de floculação

A análise textural foi realizada pelo método da pipeta, baseado no princípio da velocidade de queda das partículas, conforme a Lei de Stokes, utilizando-se como dispersante químico o hidróxido de sódio a 0,1 mol L⁻¹ (EMBRAPA, 1997). Para a

dispersão física, empregou-se a agitação lenta de 50 rpm por 16 h em agitador orbital tipo Wagner (RUIZ, 2005a). A determinação de silte foi efetivada por pipetagem e não por diferença (RUIZ, 2005b).

A argila dispersa em água (ADA) foi determinada seguindo metodologia descrita para análise granulométrica, suprimindo-se o uso do dispersante químico (EMBRAPA, 1997). Para a determinação de densidade do solo (Ds) foi utilizado o método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997), com as amostras indeformadas coletadas nos anéis cilíndricos descritos no item 2.3. O grau de flocculação (GF) foi calculado utilizando-se a equação 1, conforme EMBRAPA (1997).

$$GF = \left(\frac{\text{argila} - ADA}{\text{argila}} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

2.6. Carbono orgânico total e estoque de carbono orgânico

O carbono orgânico total (COT) foi quantificado por oxidação da matéria orgânica via úmida, com $K_2Cr_2O_7$ $0,167 \text{ mol L}^{-1}$ em meio sulfúrico com aquecimento externo (YEOMANS & BREMNER, 1988). Os estoques de carbono orgânico (em $Mg \text{ ha}^{-1}$) dos diferentes tratamentos estudados, para cada profundidade do solo, foram determinados pela expressão: teor de COT (dag kg^{-1}) x Ds x e; onde Ds = densidade do solo (kg dm^{-3}); e = espessura da camada de solo (cm).

2.7. Carbono orgânico total em classes de agregados

A distribuição das classes de tamanho dos agregados para análise de COT foi realizada em amostras de agregados de 2-4 mm de diâmetro, por meio do tamisamento úmido, utilizando-se um aparelho de Yoder (EMBRAPA, 1997). O tamisamento foi efetuado utilizando-se um conjunto de peneiras com malhas de 0,105; 0,25; 0,5; 1; e 2 mm de abertura. Foram obtidas seis classes de tamanhos de agregados, definidas pelos seguintes intervalos de diâmetros: < 0,105 mm; 0,105-0,25 mm; 0,25-0,5 mm; 0,5-1 mm; 1-2 mm e 2-4 mm. Após serem obtidas as proporções de cada classe, ambas foram secas em estufa a $105 \text{ }^\circ\text{C}$, trituradas em almofariz e passadas em peneira de malha 0,21 mm. As seis classes obtidas, foram separadas e posteriormente misturadas em três

classes de agregados, sendo as quais distribuídos em diâmetros de 4-2, 2-0,5 e 0,5-0,105 mm de diâmetro, de maneira que possam representar macroagregados, mesoagregados e microagregados, respectivamente.

O carbono orgânico das três classes distintas de agregados foi obtido por oxidação da matéria orgânica via úmida, com $K_2Cr_2O_7$ 0,167 mol L⁻¹ em meio sulfúrico com aquecimento externo (YEOMANS & BREMNER, 1988).

2.8. Análise estatística

O efeito dos sistemas de manejo, sobre as características físicas e químicas do solo, por profundidade, foi avaliado pela análise de variância, sendo as médias comparadas pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade, com auxílio do sistema computacional Winstat (UFPEl, 2001).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Características físicas do solo em diferentes sistemas de manejo

Os valores da análise textural permitem classificar esse solo como sendo argiloso, exceto na camada 0-5 cm, ao qual se enquadra em textura argilo-arenosa (Quadro 2). Os elevados valores de silte verificados nesse solo, com exceção da MS, fornecem indícios de presença de minerais primários, provavelmente micas características de Argissolos ou também de materiais agregados de difícil dispersão. Por esse solo se localizar num terraço, estará sujeito a alterações na sua composição textural, devido esses serem áreas de acúmulo de materiais oriundo das encostas, além de representar antigos depósitos aluviais.

O incremento dos valores de ADA e, conseqüentemente, decréscimo dos valores de GF observados no sistema convencional nos primeiros 5 cm de profundidade, podem estar associado ao intenso revolvimento do solo durante seu preparo, pelo fato de esses sistemas de preparo causar uma intensa desagregação do solo ao romper e fraturar seus agregados.

A densidade do solo (Ds) na camada superficial (0-5 cm) foi maior no PD, sendo semelhante ($P < 0,05$) apenas do sistema de preparo AD, concordando com BERTOL et al. (2004) e ARGENTON et al. (2005), os quais, ao avaliarem sistemas de manejo convencional e plantio direto com campo nativo e, mata, respectivamente, obtiveram resultados semelhantes. Verificou-se incremento nos valores da Ds nas camadas 5-10, 10-20 e 20-40 cm, em todos os manejos estudados, exceto o PD, o qual teve acréscimo apenas na camada 5-10 cm. Este comportamento se deve à pressão exercida no solo pelo tráfego de máquinas para efetuar o preparo durante o período experimental após 23 anos de implantação, bem como à consolidação do solo, considerando-se a ausência quase completa de preparo no PD no transcorrer desse período. Já para a MS, o aumento

da Ds em profundidade provavelmente está associado a redução do COT nesse sistema (Quadro 3), uma vez que a P_{MA} , principal responsável pelo aumento da Ds nos sistemas de manejos avaliados, em função da sua redução em profundidade, mostrou-se contrária na MS, apresentando valores maiores (Quadro 2).

Os elevados valores de densidade verificados na camada 5-10 cm em todos os sistemas de manejo podem ser indicio de compactação do solo em virtude do confinamento das pressões resultantes do tráfego de máquinas, tanto no PD, como nas formas de preparo convencional e, pressão exercida pelos implementos agrícolas durante o preparo no sistema convencional. Com o incremento da profundidade, a Ds diminui ($P < 0,05$) no PD comparado aos preparos convencionais. Observa-se redução cerca de 9% da Ds no PD na profundidade 20-40 cm em relação à primeira camada examinada, sendo semelhante ($P < 0,05$) à MS e diferindo dos demais sistemas de preparo. Esse valor ficou abaixo de $1,30 \text{ kg dm}^{-3}$ ($1,21 \text{ kg dm}^{-3}$) estabelecido por TAYLOR & ASHCROF (1972) como nível crítico para o desenvolvimento adequado do sistema radicular das culturas, pois valores acima servem de indicio de grau de compactação do solo.

Quadro 2 - Composição granulométrica, argila dispersa em água (ADA), grau de flocculação (GF), e densidade do solo (Ds) de um Argissolo Vermelho-Amarelo, nas camadas 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, em diferentes sistemas de manejo

Sistema de Manejo ⁽¹⁾	AG	AF	Silte	Argila	ADA	GF	Ds
	----- kg kg ⁻¹ -----					%	kg dm ⁻³
0-5 cm							
MS	0,378	0,148	0,042	0,432	0,014 a*	74,75 a	0,85 c
PD	0,350	0,150	0,103	0,397	0,014 a	62,25 b	1,32 a
AD	0,322	0,155	0,117	0,406	0,087 b	57,75 b	1,21 a
AD+GP	0,310	0,156	0,098	0,436	0,086 b	57,50 b	1,08 b
GP	0,288	0,140	0,101	0,471	0,090 b	61,00 b	1,07 b
CV (%) ⁽²⁾	-	-	-	-	5,19	8,09	4,85
5-10 cm							
MS	0,354	0,169	0,035	0,442	0,136 b	71,50 a	0,99 b
PD	0,307	0,164	0,107	0,422	0,189 ab	56,50 b	1,34 a
AD	0,306	0,154	0,118	0,422	0,178 ab	56,75 b	1,36 a
AD+GP	0,298	0,150	0,101	0,451	0,203 a	57,00 b	1,47 a
GP	0,314	0,150	0,096	0,440	0,162 ab	55,00 b	1,35 a
CV (%)	-	-	-	-	14,44	5,79	4,36
10-20 cm							
MS	0,318	0,168	0,035	0,479	0,136 b	72,00 a	1,02 b
PD	0,308	0,155	0,101	0,436	0,189 ab	55,75 b	1,28 a
AD	0,306	0,154	0,118	0,422	0,178 ab	58,00 ab	1,30 a
AD+GP	0,299	0,149	0,101	0,451	0,203 a	54,75 b	1,34 a
GP	0,298	0,143	0,081	0,478	0,162 ab	65,50 ab	1,41 a
CV (%)	-	-	-	-	14,44	11,41	4,65
20-40 cm							
MS	0,265	0,144	0,052	0,539	0,186 a	65,25 b	1,15 b
PD	0,253	0,138	0,113	0,496	0,099 ab	77,25 ab	1,21 b
AD	0,263	0,139	0,116	0,482	0,086 ab	82,25 ab	1,36 a
AD+GP	0,248	0,133	0,103	0,516	0,149 ab	70,25 ab	1,39 a
GP	0,267	0,132	0,096	0,505	0,027 b	93,25 a	1,32 a
CV (%)	-	-	-	-	49,76	15,75	3,52

⁽¹⁾MS: mata secundária, PD: plantio direto, AD: arado de disco, AD+GP: arado de disco + grade pesada e GP: grade pesada; AG: areia grossa; AF: areia fina; ⁽²⁾ CV: coeficiente de variação; * Médias seguidas da mesma letra na coluna de variáveis e profundidades, não diferem entre si pelo teste Tukey (<0,05).

3.2. Teores e estoques totais de carbono no solo em diferentes sistemas de manejo

Os teores de COT foram maiores ($P < 0,05$) no solo sob PD (2,17 dag kg⁻¹) em relação aos solos sob sistema convencional (AD, AD+GP e GP), na camada 0-5 cm, porém menores em relação a MS (3,41 dag kg⁻¹). Nas camadas 5-10, 10-20 e 20-40 cm não foram observadas diferenças entre os sistemas de manejo estudados, porém ambos diferem ($P < 0,05$) do solo sob condições de equilíbrio representado pela MS. Na camada 0-5 cm, o estoque de COT também foi maior no sistema PD em relação aos solos

manejados com sistema convencional, sendo semelhante ($P < 0,05$) da MS (Quadro 3). As diferenças observadas nos teores e estoques de COT nos sistemas de manejo estudados estão de acordo com estudos que preconizam a existência de maiores concentrações de carbono no sistema PD em relação aos sistemas convencionais, sendo esse acúmulo restrito às camadas superficiais (CASTRO FILHO et al., 1998; BERTOL et al., 2004; D' ANDRÉA et al., 2004; ARGENTON et al., 2005).

Nos sistemas não revolvidos pelo preparo do solo, no caso o PD, os resíduos culturais são depositados em superfície e, após a decomposição, promovem o aumento do COT na camada superficial, o que pode ser complementado pela decomposição das raízes, geralmente mais abundantes na superfície. Por outro lado, nos sistemas AD, AD+GP e GP, os resíduos são incorporados no solo, sendo distribuídos até a profundidade de atuação do implemento durante o preparo. Concomitantemente, a aeração e temperaturas maiores nestes sistemas convencionais e, a destruição dos agregados pela ação do implemento, expõem a matéria orgânica protegida fisicamente ao ataque microbiano, promovem a perda de COT e diminuem a capacidade do solo em armazenar carbono (COSTA et al., 2008). Todas essas considerações contribuem para o entendimento do maior diferencial nos teores de carbono verificados no sistema PD comparado aos preparos convencionais. Nos últimos, os teores de COT são mais uniformes em profundidade, principalmente até a ação dos implementos durante o preparo do solo.

Os estoques de COT nos sistemas com PD, AD, AD+GP e GP não diferem ($P < 0,05$) entre os tratamentos, nas camadas 5-10, 10-20 e 20-40 cm, assim como da MS, na camada 10-20 cm, exceto a MS do sistema AD entre 10-20 cm de profundidade. Além da incorporação da palhada nos sistemas de manejo convencional, contribuindo na distribuição uniforme dos resíduos, a elevada densidade do solo entre 10-20 cm (Quadro 2) observada nos sistemas de manejo, tanto convencional (AD, AD+GP e GP), como conservacionista (PD), contribuem significativamente para o aumento dos teores de carbono nessas camadas, uma vez que esse atributo físico do solo possui uma relação diretamente proporcional na quantificação do estoque de COT.

Estimando os estoques de carbono para a camada de 0-40 cm, observou-se que o solo sob PD apresentou 13,8; 3,1 e 10,0 % mais COT estocado do que o solo sob AD, AD+GP e GP, respectivamente. Resultados concordantes também foram observados por D'ANDRÉA et al. (2004), com aumentos de estoque de COT no PD de longa duração em relação a preparos convencionais com grade aradora, variando de 17,2 a 10,5% para a mesma camada avaliada. O PD perdeu 25,9% de COT em relação a referência da MS;

já nos sistemas de preparo AD, AD+GP e GP as perdas foram 43,3; 29,6 e 38,6% de COT, respectivamente, após a retirada da floresta atlântica para a entrada da agricultura intensiva.

Quadro 3 - Carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono orgânico total (COT) de um Argissolo Vermelho- Amarelo, nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, em diferentes sistemas de manejo

Camada	MS ⁽¹⁾	PD	AD	AD+GP	GP	CV ⁽²⁾
cm	----- COT (dag kg ⁻¹) -----					%
0-5	3,41 a*	2,17 b	1,44 d	1,59 cd	1,68 c	4,81
5-10	2,60 a	1,50 b	1,40 b	1,49 b	1,58 b	5,72
10-20	2,02 a	1,32 b	1,23 b	1,34 b	1,18 b	9,73
20-40	1,53 a	1,02 b	0,87 b	0,95 b	0,89 b	8,62
	----- Estoque COT (Mg ha ⁻¹) -----					
0-5	14,48 a	14,36 a	8,73 b	8,59 b	8,98 b	5,19
5-10	12,83 a	10,04 b	9,54 b	10,97 b	10,76 b	6,11
10-20	20,56 a	6,93 ab	15,93 b	17,99 ab	16,63 ab	10,42
20-40	35,29 a	24,69 b	23,81 b	26,49 b	23,60 b	8,89
0-40	83,16	66,02	58,01	64,04	59,97	-

⁽¹⁾MS: mata secundária, PD: plantio direto, AD: arado de disco, AD+GP: arado de disco + grade pesada e GP: grade pesada; ⁽²⁾CV: coeficiente de variação; * Médias seguidas da mesma letra na linha de variáveis não diferem entre si pelo teste Tukey (<0,05).

3.3. Análise temporal dos estoques de carbono orgânico total do solo em diferentes sistemas de manejo

Os estoques de COT na MS foram considerados em estados de equilíbrio ao longo do tempo e determinados pelos fatores de formação do solo, como clima, vegetação, relevo e material de origem, além da textura do solo, devido à influência destes sobre as taxas de adição e de perda de material orgânico do solo. Com os cultivos que antecederam a implantação do experimento (1930 a 1984) os estoques de COT foram reduzidos cerca de 14, 13, 10 e 25 % para as camadas 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, respectivamente, atuando, além de outras formas de perdas, como fonte de C-CO₂ para a atmosfera (Figura 1). Esse decréscimo possivelmente está relacionado à diminuição da adição de material orgânico ao solo pelas culturas no decorrer dos anos e, pelo incremento nas taxas de perda de carbono devido aos processos de oxidação e erosão (em menor escala) da matéria orgânica.

Analisando a camada 0-5 cm na figura 1, observou-se que desde o início do experimento até os cinco primeiros anos ocorreram perdas de carbono no sistema PD, mostrando posterior recuperação após 23 anos, atingindo significativamente (P<0,05) as

condições de equilíbrio representado pela MS. Ao contrário, no sistema convencional ocorreram perdas de COT nas quatro camadas examinadas. No quinto ano ocorreu recuperação dos estoques de carbono nas camadas 10-20 e 20-40 cm, tanto no sistema PD, como nos sistemas convencionais, acumulando em torno de 23 Mg ha⁻¹ e 42 Mg ha⁻¹ nas respectivas camadas. A presença de uma camada mais compactada a partir dos 10 cm, causado por pressões exercidas pelos implementos durante o preparo pode ter favorecido a diminuição da perda de matéria orgânica por lixiviação e, limitações do crescimento e atividade dos microrganismos devido a alterações da atmosfera do solo, diminuindo assim a taxa de decomposição da matéria orgânica do solo nesses sistemas (PASSOS et al., 2007), também pode ter influenciado em maiores estoques de COT nessas camadas. Do quinto ao vigésimo terceiro ano, os estoques de COT foram reduzidos em todos os sistemas convencionais, em todas as camadas avaliadas, enquanto que o PD apresentou recuperação de 2,8 Mg ha⁻¹ nos primeiros 5 cm de profundidade (Figura 1).

Após 23 anos de instalação do experimento, o PD foi o único sistema que aumentou carbono no solo, estocando 1,4 Mg ha⁻¹ na camada 0-5 cm, obtendo uma variação anual de 0,06 Mg ha⁻¹, sendo semelhante (P<0,05) a da MS. Nos sistemas AD, AD+GP e GP provavelmente ocorreu maior emissão de C-CO₂, perdendo em torno de 4,2; 0,9; 1,9 e 4,5 Mg ha⁻¹ de COT, nas camadas 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, respectivamente, o que acarretou perda anual cerca de 0,2, 0,04, 0,08 e 0,2 Mg ha⁻¹ de carbono durante o período e nas respectivas camadas estudadas (Quadro 4). Parte da explicação destes resultados pode estar relacionada ao extenso período sob preparo convencional desde a conversão da floresta para agricultura, ocorrida por volta de 1930. A utilização de sistemas de preparo conservacionista, embora não diferindo (P<0,05) das condições de equilíbrio (MS), nos primeiros 5 cm de profundidade, não foi suficiente para propiciar estoque de carbono no solo. Por isso é necessária a adoção de outras práticas de manejo que associadas à semeadura direta, aumentem os estoques de COT, exemplificando a introdução de sistemas de culturas de cobertura com elevado aporte de resíduos.

O incremento de fitomassa de plantas de cobertura representaria grande contribuição na adição de resíduos vegetais ao solo, sendo, portanto, uma eficiente alternativa para seqüestrar C-CO₂ ao estocar COT no solo. Conceição et al. (2005) e Costa et al., (2008) ao estudarem o PD num Argissolo Vermelho e Latossolo Vermelho na depressão central do RS, constataram que o sistema PD intercalado com culturas de cobertura em sistemas rotacionados e consorciados de leguminosas com gramíneas,

acumulou 3,0 Mg ha⁻¹ e 2,7 Mg ha⁻¹ de COT por um período de apenas 10 e 18 anos de instalação do sistema, respectivamente, nos primeiros 20 cm de profundidade. Ambos os autores concluem haver um sinergismo maior no consórcio interpolado de leguminosas com gramíneas, na retenção de carbono no solo, pois resíduos de leguminosas e gramíneas se caracterizam por ter relações C:N baixa e alta, respectivamente, obtendo maior disponibilidade temporal dos seus resíduos para aumentar a atividade microbiana no solo. As leguminosas, além de aumentarem significativamente a retenção de carbono e nitrogênio no solo, melhorando a sua qualidade, resultam em menor custo financeiro ao produtor, reduzindo a necessidade de fertilizantes nitrogenados ao suprir parcialmente o nitrogênio (COSTA et al., 2008).

Entretanto, as perdas de COT constatadas nos sistemas de preparos convencionais são consideradas baixas com base na literatura examinada (CORAZZA et al., 1999; D'ANDRÉA et al., 2004; COSTA et al., 2008). Fato esse está atribuído aos estoques elevados de carbono no solo antes da instalação do experimento. A justificativa para tal deve-se aos altos valores de densidade do solo (Média de 1,4 kg cm⁻³) verificados em análises feitos antes da instalação do experimento (SAMPAIO, 1987); valores estes considerados acima da média para solos em condições de intenso revolvimento.

Quadro 4 - Estoque de carbono orgânico total em 1985 (início do experimento) e em 2008 (23 anos após instalação) e sua variação anual no período, nas camadas 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, de um Argissolo Vermelho-Amarelo, em diferentes sistemas de manejo

Sistema de manejo ⁽¹⁾	Estoque				Variação no período	
	Camada		Ponderado para 5 cm camada ⁻¹		Mg ha ⁻¹	Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹
	1985	2008	1985	2008		
	-----Mg ha ⁻¹ -----					
	0-5 cm					
PD	12,96	14,36 a*	12,96	14,36	+ 1,40	+ 0,06
AD	12,96	8,73 b	12,96	8,73	- 4,23	- 0,18
AD+GP	12,96	8,59 b	12,96	8,59	- 4,37	- 0,19
GP	12,96	8,89 b	12,96	8,89	- 4,07	- 0,18
CV(%) ⁽²⁾	-	50				
	5-10 cm					
PD	11,38	10,04 a	11,38	10,04	- 1,34	- 0,06
AD	11,38	9,54 a	11,38	9,54	- 1,84	- 0,08
AD+GP	11,38	10,97 a	11,38	10,97	- 0,41	- 0,02
GP	11,38	10,76 a	11,38	10,76	- 0,62	- 0,03
CV(%)	-	7,14				
	10-20 cm					
PD	18,75	16,92 a	9,37	8,46	- 1,82	- 0,08
AD	18,75	15,94 a	9,37	7,97	- 2,82	- 0,12
AD+GP	18,75	17,98 a	9,37	8,99	- 0,76	- 0,03
GP	18,75	16,63 a	9,37	8,31	- 2,12	- 0,09
CV(%)	-	12,49				
	20-40 cm					
PD	29,19	24,68 a	7,30	6,17	- 4,50	- 0,19
AD	29,19	23,81 a	7,30	5,95	- 5,28	- 0,23
AD+GP	29,19	26,49 a	7,30	6,62	- 2,70	- 0,12
GP	29,19	23,60 a	7,30	5,90	- 5,59	- 0,24
CV(%)	-	10,13				

⁽¹⁾ PD: plantio direto, AD: arado de disco, AD+GP: arado de disco + grade pesada e GP: grade pesada; ⁽²⁾ CV: coeficiente de variação; ⁽³⁾ Sinais positivos e negativos significam perdas e retenção de carbono no sistema solo-atmosfera, respectivamente; * Médias seguidas da mesma letra na coluna de variáveis e profundidades não diferem entre si pelo teste Tukey (<0,05),

Fonte: Teores de COT antes da instalação do experimento foram obtidos em SAMPAIO (1987).

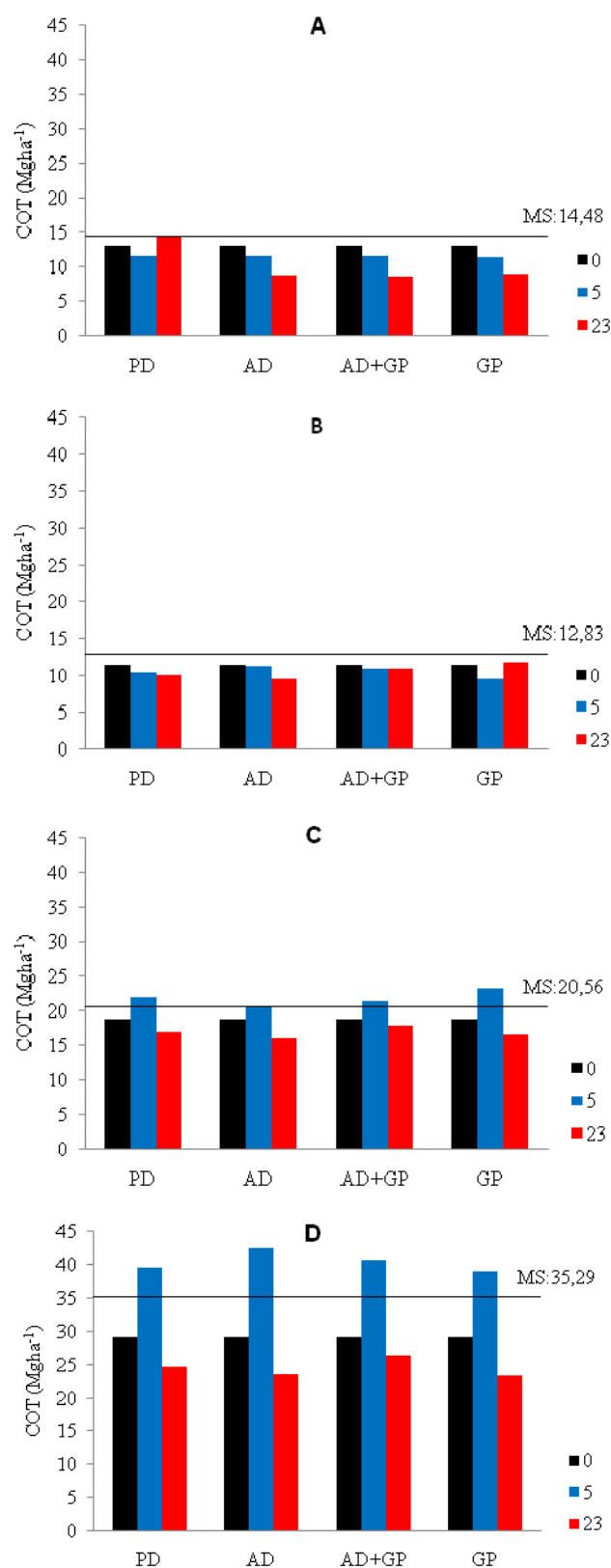


Figura 1- Análise temporal dos estoques de carbono orgânico total (COT) nas camadas 0-5 cm (A), 5-10 cm (B), 10-20 cm (C) e 20-40 cm (D), na instalação do experimento (ano 0), no quinto ano (5) e no vigésimo terceiro ano (23), de um Argissolo Vermelho-Amarelo, em diferentes sistemas de manejo. PD: plantio direto, AD: arado de disco, AD+GP: arado de disco+grade pesada, GP: grade pesada e MS: mata secundária. Fonte: Os teores de COT antes da instalação do experimento foram obtidos em SAMPAIO (1987) e no quinto ano por SIQUEIRA (1995).

3.4. Carbono orgânico total em classes de agregados do solo em diferentes sistemas de manejo

De modo geral, os valores médios de COT foram maiores ($P < 0,05$) na classe 1 (4-2 mm), comparada às classes 2 (2-0,5 mm) e 3 (0,5-0,105 mm), nas camadas 0-10 cm e 10-40 cm (Quadro 5). Os teores de COT na classe 1 foram em valores absolutos, maiores comparado às médias dos teores de COT no solo, nas duas camadas avaliadas (0-10 e 10-40 cm). Entretanto, nas classes 2 e 3, observaram-se menores teores de COT em relação aos teores de COT no solo (Quadro 3). Os resultados evidenciam a importância do carbono no aumento da estabilidade de agregados. Se por um lado, o carbono aumenta a estabilidade dos agregados, por outro, os agregados do solo, em especial os macroagregados, diminuem a taxa de decomposição dos resíduos orgânicos devido à proteção física, fazendo com que os teores de COT nos agregados variem diretamente com os teores de carbono orgânico no solo, ou seja, elevando seu conteúdo nos macroagregados e, diminuindo nos microagregados (FERREIRA et al., 2007).

Observou-se nas duas camadas avaliadas (0-10 e 10-40 cm), que a MS apresenta os maiores teores de COT nas três classes de agregados examinadas. O sistema PD, embora diferindo ($P < 0,05$) da MS, apresenta forte tendência de restabelecer um equilíbrio natural do solo nos primeiros 10 cm de profundidade. O solo sob PD recuperou 90,4 % de COT na classe de maior tamanho (1), perdido no sistema convencional (AD) durante a retirada da floresta natural para a entrada da agricultura convencional, nos 10 cm superficiais do solo. O teor de matéria orgânica do solo depende do balanço das taxas de adição e de perdas de carbono orgânico por erosão, lixiviação e mineralização (PASSOS et al., 2007). A adição anual dos restos culturais no sistema PD por 23 anos de instalação, concomitantemente favorecidos pelo uso de fertilizantes químicos na área, favoreceram maiores produções de matéria seca, influenciando assim a elevação dos teores de COT nos agregados.

Os macroagregados, representados pela classe 1, apresentaram em média 64% e 82% mais COT nas camadas 0-10 e 10-40 cm, respectivamente, em relação a classe dos microagregados (classe 3). Os resultados estão de acordo com ASSIS et al. (2006), no qual verificaram que os macroagregados de um Latossolo Vermelho possuem maior teor de COT comparado aos microagregados, e que a fração húmica da matéria orgânica do solo seria a principal responsável pela elevação de COT nos macroagregados, atuando como importante agente na sua formação e estabilização. Já os microagregados

podem ser estabilizados por matéria orgânica mais persistente, antiga e resistente à degradação microbiana (ASSIS et al., 2006). Entretanto, a liberação da matéria orgânica particulada (MO-fração livre) durante a desagregação, responsável pela união dos agregados menores (PERREIRA et al., 2007) também não poderá ser descartada. Esses autores ao estudarem a contribuição do COT na gênese dos agregados de um Argissolo e Neossolo, concluíram que a fração livre da MO é a principal componente da agregação dos solos. Essa fração, por predominar nos microagregados, atua como agente cimentante, concomitantemente com óxidos de ferro, formando macroagregados.

Quadro 5 - Carbono orgânico total (COT) em três classes de agregados, de um Argissolo Vermelho-Amarelo, nas camadas 0-10 e 10-40 cm, em diferentes sistemas de manejo

Sistema de Manejo ⁽¹⁾	COT (dag kg ⁻¹)			CV (%) ⁽²⁾
	Classe 1 ⁽³⁾	Classe 2	Classe 3	
	0-10 cm			
MS	3,19 a*	2,83 a	1,67 a	-
PD	2,19 b	1,56 b	1,34 ab	-
AD	1,15 d	0,73 c	0,99 b	-
AD+GP	1,72 c	1,26 b	1,06 b	-
GP	1,70 c	1,49 b	0,97 b	-
Média	1,99 A	1,57 AB	1,21 B	18,79
CV (%)	6,81	9,66	14,77	
	10-40 cm			
MS	1,98 a	1,69 a	1,37 a	-
PD	1,25 b	0,70 b	0,70 b	-
AD	0,99 c	0,84 b	0,71 b	-
AD+GP	1,20 bc	0,74 b	0,33 c	-
GP	0,99 c	0,78 b	0,43 bc	-
Média	1,28 A	0,95 B	0,70 C	13,28
CV (%)	8,85	22,42	20,47	

⁽¹⁾MS: mata secundária, PD: plantio direto, AD: arado de disco, AD+GP: arado de disco + grade pesada e GP: grade pesada; ⁽²⁾CV: coeficiente de variação; * Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e profundidade de variáveis e maiúscula na linha e profundidade de variáveis, não diferem entre si pelo teste Tukey (<0,05).

⁽³⁾ Classe 1: 4-2; Classe 2: 2-0,50 e Classe 3: 0,50-0,105 mm de Ø.

4. CONCLUSÕES

Os teores e estoques de COT nos solos sob sistemas de manejo foram menores que no solo sob MS, contribuindo na emissão de C-CO₂ para a atmosfera. Por isso, sistemas de produção mais sustentáveis que envolvam culturas em rotação com plantas de cobertura com elevado aporte de resíduos, aliados a preparos conservacionistas, devem ser adotados para que o solo possa agir como dreno, contribuindo para mitigar as emissões de C-CO₂ para a atmosfera.

O PD foi o único sistema que mostrou recuperação nos estoques de COT após 23 anos de implantação, conforme observado nos primeiros 5 cm de profundidade, porém diminuindo com o aumento da profundidade concomitantemente com os outros sistemas de manejos avaliados.

Os teores e estoques de COT do sistema PD superaram aqueles da área sob revolvimento do solo na camada 0-5 cm, entretanto não houve incremento em profundidades maiores comparado aos sistemas convencionais.

O teor de COT variou com a classe de agregados e foi alterado pelo manejo do solo, sendo que os agregados maiores apresentaram maiores teores de COT.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E.; OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso de fósforo remanescente. Viçosa, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 52:27-32, 2000.(Boletim Informativo).
- ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.& WILDNER, L.P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de um latossolo vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Rev. Bras. Ci. Solo**, 29:425-435, 2005.
- ASSIS, C. P.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E.S. & NEVES, J.C.L. Carbono e nitrogênio em agregados de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesq. Agropec. Bras.**, 41:1541-1550, 2006.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T.J.C.; MARTIN-NETO, L. & FERNANDES, S.V. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil Till. Res.**, 54:101-109, 2000b.
- BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J.A.; LEITE, D.; AMARAL, A.J. & ZOLDAN JUNIOR, W.A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Rev. Bras. Ci. Solo**, 28:155-163, 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. **Rev. Bras. Ci. Solo**, 22:527-538, 1998.
- CONCEIÇÃO, P.C.; AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J. & SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Rev. Bras. Ci. Solo**, 29:777-788, 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. **Rev. Bras. Ci. Solo**, 23:425-432, 1999.

COSTA, F.S.; BAYER, C.; ZANATTA, J.A. & MIELNICZUK, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Rev. Bras. Ci. Solo**, 32:323-332, 2008.

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

D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N. & GUILHERME, L.R.G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesq. Agropec. Bras.**, 39:179-186, 2004.

DEFELIPO, B.V.; RIBEIRO, A.C. **Análise química do solo**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1981. 17p. (Boletim Extensão, 29).

DONIGIAN, A.S.; BARNWELL, R.B.; JACKSON, R.B.; PATWARDHAN, A.S.; WEINREICH, K.B.; ROWELL, A.L.; CHINNAWAMY, RV.; COLE, C.V. **Assessment of alternative management practices and policies affecting soil carbon in agroecosystems of the central United States**. Athens: USEPA, 1994.(Publication, EPA/600/r-94/067).

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2006. 306 p.

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**, 37: 381-388, 2007.

HERNANI, L.C.; KURIHARA, C.H.; SILVA, W.M. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Rev. Bras. Ci. Solo**, 23:145-154, 1999.

KERN, J.S.; JOHNSON, M.G. Conservation tillage impacts on national soil and atmospheric carbon levels. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 57:200-210, 1993.

LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E. & WHITMAN, C. **Towards improving the global data base on soil carbon**. In: LAL, R.; LEVINE, E. & STEWART, B. A., eds. *Soils and Global Change*. Boca Raton, CRC Lewis Publishers, 1995.p.433-346.

LEITE, L.F.C. **Compartimentos e dinâmica da matéria orgânica do solo sob diferentes manejos e sua simulação pelo modelo century**. Viçosa: UFV, 2002, 146p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

OLIVEIRA, J.T.; MOREAU, A.M.S.S.; PAIVA, A.Q.; MENEZES, A.A. & COSTA, O.V. Características físicas e carbono orgânico de solos sob diferentes tipos de uso da terra. **Rev. Bras. Ci. Solo**, 32:2821-2829, 2008, Número Especial.

PASSOS, R.R.; RUIZ, H.A.; CANTARUTTI, R.B. & MENDONÇA, E.S. Carbono orgânico e nitrogênio em agregados de um Latossolo Vermelho Distrófico sob duas coberturas vegetais. **Rev. Bras. Ci. Solo**, 31:1109-1118, 2007.

RUIZ, H.A. Dispersão física do solo para análise granulométrica por agitação lenta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife - PE. **CD-ROM**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005a.

RUIZ, H.A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). **Rev. Bras. Ci. Solo**, 29:297-300, 2005b.

SAMPAIO, G.V. **Efeitos de sistemas de preparo do solo sobre o consórcio milho-feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e sobre algumas propriedades físicas e químicas do solo**. Viçosa: UFV, 1987, 121 p. Tese (Mestrado em Fitotecnia). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SIQUEIRA, N.S. **Influência de sistemas de preparo sobre algumas propriedades químicas e físicas do solo e sobre a cultura do milho (*Zea mays* L.)**. Viçosa: UFV, 1995, 78 p. Tese (Doutorado Fitotecnia). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

TAYLOR, S.A. & ASHCROFT, G.L. **Physical edaphology – The physics of irrigated and nonirrigated soils**. San Francisco, W.H. Freeman, 1972. 532 p.

UFPel. WINSTAT. **Sistema de Análise Estatística para Windows, Versão 2.0**. Pelotas, RS, 2001.

YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M.. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. Communications in. **Soil. Sci. Plant Anal.**, 19: 1467-1476, 1988.

CONCLUSÕES GERAIS

Os diferentes manejos adotados afetaram as propriedades físicas e a dinâmica do carbono orgânico no solo, após a retirada da mata atlântica e entrada da agricultura, ocorrida por volta de 1930.

O sistema de preparo convencional degradou as propriedades relacionadas com a forma e com a estabilidade da estrutura do solo, em relação à mata secundária, indicadas pelo aumento da densidade do solo e a diminuição da macroporosidade, estabilidade de agregados e teores de carbono orgânico total.

O solo em plantio direto apresentou melhores condições estruturais, evidenciadas principalmente pela redução da densidade do solo e aumento da macroporosidade em subsuperfície e, pelo aumento da estabilidade de agregados na camada superficial do solo.

Decorridos 23 anos de implantação do experimento, o sistema plantio direto não apresentou potencial para recuperação dos estoques de carbono no solo. A necessidade de inclusão de sistemas de culturas que propiciem diferentes aportes de carbono ao solo poderia incrementar o seu estoque no solo. Assim, o experimento constaria de sistemas que contribuíssem tanto para as perdas (sistemas de preparo) quanto para os ganhos (sistemas de cultura) de carbono.

O carbono orgânico apresentou-se sensível as alterações causadas pelo revolvimento do solo, correlacionando-se negativamente com os atributos associados à degradação do solo, e positivamente com os atributos associados a reestruturação do solo.

APÊNDICES

Quadro 1a - Resumo das análises de variância dos dados referentes às propriedades estudadas, na camada 0-5 cm

FV	GL	Quadrado Médio							
		Ds	Dp	P _{MI}	P _{MA}	P _T	ADA	GF	K ₀
Bloco	4	0,004	0,005	0,001	0,003	0,001	0,103	52,983	612,4439
Tratamento	3	0,122	0,001	0,007*	0,047*	0,019	38,461	199,825*	22318,750
Resíduo	12	0,003	0,004	0,002	0,004	0,001	0,328	25,692	355,755
Total	19	-	-	-	-	-	-	-	-

Ds: densidade do solo, Dp: densidade da partícula, P_{MI} : microporosidade, P_{MA}: macroporosidade, P_T: porosidade total, ADA: argila dispersa em água, GF: grau de flocculação, K₀: condutividade hidráulica em meio saturado.

* significativo a 5 % de probabilidade pelo teste Tukey.

Quadro 1b - Resumo das análises de variância dos dados referentes às propriedades estudadas, na camada 0-5 cm

FV	GL	Quadrado Médio				
		COT	Est COT	DMG	DMP	IEA
Bloco	4	0,003	0,103	0,022	0,023	1,153
Tratamento	3	2,586*	38,461	1,347	0,813	26,397*
Resíduo	12	0,010	0,328	0,033	0,024	1,963
Total	19	-	-	-	-	-

COT: carbono orgânico total, Est COT: estoque de carbono orgânico total, DMG: diâmetro médio geométrico, DMP: diâmetro médio ponderado, IEA: índice de estabilidade de agregados.

* significativo a 5 % de probabilidade pelo teste Tukey.

Quadro 1c - Resumo das análises de variância das classes de agregados 4-2; 2-1; 1-0,25; 0,50-0,25; 0,25-0,105 e <0,105 mm de diâmetro, na camada 0-5 cm

FV	GL	Quadrado Médio					
		4-2	2-1	1-0,50	0,50-0,25	0,25-0,105	<0,105
Bloco	4	39,0497	4,733	4,798	3,146	1,462	1,125
Tratamento	3	1641,239	181,793	100,857	55,514	21,891	25,618*
Resíduo	12	44,920	6,030	3,476	2,371	0,932	1,915
Total	19	-	-	-	-	-	-

* significativo a 5 % de probabilidade pelo teste Tukey.

Quadro 2a - Resumo das análises de variância dos dados referentes às propriedades estudadas, na camada 5-10 cm

FV	GL	Quadrado Médio							
		Ds	Dp	P _{MI}	P _{MA}	PT	ADA	GF	K ₀
Bloco	4	0,003	0,001	0,001	0,001	9,833	935,783	98,317	150,331
Tratamento	3	0,137	0,006	0,010	0,070	0,027	3070,625*	186,95	1043,184*
Resíduo	12	0,003	0,003	0,001	0,001	0,001	576,325	11,817	92,022
Total	19	-	-	-	-	-	-	-	-

Ds: densidade do solo, Dp: densidade da partícula, P_{MI}: microporosidade, P_{MA}: macroporosidade, P_T: porosidade total, ADA: argila dispersa em água, GF: grau de floculação, K₀: condutividade hidráulica em meio saturado.

* significativo a 5 % de probabilidade pelo teste Tukey.

Quadro 2b - Resumo das análises de variância dos dados referentes às propriedades estudadas, na camada 5-10 cm

FV	GL	Quadrado Médio				
		COT	Est COT	DMG	DMP	IEA
Bloco	4	0,015	0,614	0,174	0,107	3,377
Tratamentos	3	0,992	6,298*	0,500*	0,265*	7,022
Resíduo	12	0,010	0,437	0,057	0,032	2,238
Total	19	-	-	-	-	-

COT: carbono orgânico total, Est COT: estoque de carbono orgânico total, DMG: diâmetro médio geométrico, DMP: diâmetro médio ponderado, IEA: índice de estabilidade de agregados.

* significativo a 5 % de probabilidade pelo teste Tukey.

Quadro 2c - Resumo das análises de variância das classes de agregados 4-2; 2-1; 1-0,25; 0,50-0,25; 0,25-0,105 e <0,105 mm de diâmetro, na camada 5-10 cm

FV	GL	Quadrado Médio					
		4-2	2-1	1-0,50	0,50-0,25	0,25-0,105	<0,105
Bloco	4	553,063	3,248	19,757	11,772	4,546	4,609
Tratamento	3	176,963*	66,966*	32,463*	18,817*	7,617*	7,065
Resíduo	12	60,749	10,992	4,591	3,290	1,260	2,827
Total	19	-	-	-	-	-	-

* significativo a 5 % de probabilidade pelo teste Tukey.

Quadro 3a - Resumo das análises de variância dos dados referentes às propriedades estudadas, na camada 10-20 cm

FV	GL	Quadrado Médio							
		Ds	Dp	P _{MI}	P _{MA}	PT	ADA	GF	Ko
Bloco	4	0,014	0,006	0,001	0,001	0,001	2132,133	164,4	148,807
Tratamento	3	0,088	0,033*	0,007*	0,051	0,020*	2665,075*	216,675*	246,751
Resíduo	12	0,003	0,008	0,001	0,001	0,002	628,508	48,775	248,545
Total	19	-	-	-	-	-	-	-	-

Ds: densidade do solo, Dp: densidade da partícula, P_{MI} : microporosidade, P_{MA} : macroporosidade, P_T : porosidade total, ADA: argila dispersa em água, GF: grau de floculação, K₀: condutividade hidráulica em meio saturado.

* significativo a 5 % de probabilidade pelo teste Tukey.

Quadro 3b - Resumo das análises de variância dos dados referentes às propriedades estudadas, na camada 10-20 cm

FV	GL	Quadrado Médio				
		COT	Est COT	DMG	DMP	IEA
Bloco	4	0,010	1,515	0,053	0,043	0,055
Tratamentos	3	0,467	13,060*	0,282*	0,119*	8,294
Resíduo	12	0,019	3,391	0,049	0,034	0,481
Total	19	-	-	-	-	-

COT: carbono orgânico total, Est COT: estoque de carbono orgânico total, DMG: diâmetro médio geométrico, DMP: diâmetro médio ponderado, IEA: índice de estabilidade de agregados.

* significativo a 5 % de probabilidade pelo teste Tukey.

Quadro 3c - Resumo das análises de variância das classes de agregados 4-2; 2-1; 1-0,25; 0,50-0,25; 0,25-0,105 e <0,105 mm de diâmetro, na camada 10-20 cm

FV	GL	Quadrado Médio					
		4-2	2-1	1-0,50	0,50-0,25	0,25-0,105	<0,105
Bloco	4	29,889	3,143	1,755	2,766	0,540	0,258
Tratamento	3	242,230*	8,650	19,192*	14,155*	5,068*	7,874
Resíduo	12	26,608	3,804	2,737	1,988	0,475	0,439
Total	19	-	-	-	-	-	-

* significativo a 5 % de probabilidade pelo teste Tukey.

Quadro 4a - Resumo das análises de variância dos dados referentes às propriedades estudadas, na camada 20-40 cm

FV	GL	Quadrado Médio							
		Ds	Dp	P _{MI}	P _{MA}	PT	ADA	GF	K ₀
Bloco	4	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	20840,180	922,583	102,894
Tratamento	3	0,040	0,043*	0,006	0,026	0,009*	14904,800*	473,200*	250,440*
Resíduo	12	0,002	0,006	0,001	0,001	0,001	2972,100	149,667	668,009
Total	19	-	-	-	-	-	-	-	-

Ds: densidade do solo, Dp: densidade da partícula, P_{MI} : microporosidade, P_{MA} : macroporosidade, P_T : porosidade total, ADA: argila dispersa em água, GF: grau de floculação, K₀: condutividade hidráulica em meio saturado.

* significativo a 5 % de probabilidade pelo teste Tukey.

Quadro 4b - Resumo das análises de variância dos dados referentes as propriedades estudadas, na camada 20-40 cm

FV	GL	Quadrado Médio				
		COT	Est COT	DMG	DMP	IEA
Tratamento	4	0,295	95,839	0,097	0,052	2,034*
Bloco	3	0,003	2,678	0,032	0,025	0,450
Resíduo	12	0,008	5,664	0,030	0,021	0,458
Total	19	-	-	-	-	-

COT: carbono orgânico total, Est COT: estoque de carbono orgânico total, DMG: diâmetro médio geométrico, DMP: diâmetro médio ponderado, IEA: índice de estabilidade de agregados.

* significativo a 5 % de probabilidade pelo teste Tukey.

Quadro 4c - Resumo das análises de variância das classes de agregados 4-2; 2-1; 1-0,25; 0,50-0,25; 0,25-0,105 e <0,105 mm de diâmetro, na camada 20-40 cm

FV	GL	Quadrado Médio					
		4-2	2-1	1-0,50	0,50-0,25	0,25-105	<0,105
Bloco	4	59,115	11,852	6,034	2,016	0,643	0,598
Tratamento	3	109,182	19,282	6,191	3,006	0,879	2,247*
Resíduo	12	49,284	10,362	4,085	1,654	0,434	0,367
Total	19	-	-	-	-	-	-

* significativo a 5 % de probabilidade pelo teste Tukey.

Quadro 5a - Resumo das análises de variância do teor de Carbono orgânico total (COT) em classes de agregados, na camada 0-10 cm

FV	GL	Quadrado Médio		
		Classe 1	Classe 2	Classe 3
Bloco	4	0,030	0,017	0,006
Tratamento	3	2,328	2,400	0,352*
Resíduo	12	0,018	0,023	0,032
Total	19	-	-	-

Classe 1: 4-2 mm; Classe 2: 2-0,50 mm, Classe 3: 0,50-0,105 mm de diâmetro.

* significativo a 5 % de probabilidade pelo teste Tukey.

Quadro 5b - Resumo das análises de variância do teor de Carbono orgânico total (COT) em classes de agregados, na camada 10-40 cm

FV	GL	Quadrado Médio		
		Classe 1	Classe 2	Classe 3
Bloco	4	0,004	0,026	0,006
Tratamento	3	0,664	0,697*	0,652
Resíduo	12	0,013	0,045	0,021
Total	19	-	-	-

Classe 1: 4-2 mm; Classe 2: 2-0,50 mm, Classe 3: 0,50-0,105 mm de diâmetro

* significativo a 5 % de probabilidade pelo teste Tukey.

Quadro 6 - Resumo das análises de variância dos dados referentes às variáveis e índices micromorfológicos do solo

FV	GL	Quadrado Médio							
		Pm	CMA	CME	DF	Ar	Al	Ru	Ard
Rep	19	6,709	0,503	0,276	0,566	60,145	0,063	0,017	0,002
Tratamento	2	199,629	2,156*	1,127	20,771	1229,	0,551*	0,837	0,008*
Resíduo	38	10,970	0,651	0,409	1,035	992,594	0,087	0,037	0,002
Total	59	-	-	-	-	-	-	-	-

Pm: perímetro, CMA: comprimento do maior eixo, CME: comprimento do menor eixo, DF: diâmetro Fered, Ar: área agregado, Al: alongamento, Ru: rugosidade, Ard: arredondamento, CV: coeficiente de variação, DP: desvio padrão, ¹MS: mata secundária, PD: plantio direto, AD+GP: arado disco + grade pesada.

* significativo a 5 % de probabilidade pelo teste Tukey.