SÉRGIO CARLOS RESENDE

INFLUÊNCIA DE DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO NAS PROPRIEDADES FÍSICO-HÍDRICAS DE ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO DA REGIÃO DOS TABULEIROS COSTEIROS SERGIPANOS

Tese apresentada a Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS-BRASIL
2012

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

T
R433i
2012

Resende, Sérgio Carlos, 1969-
Influência de diferentes sistemas de manejo nas propriedades físico-hídricas de Argissolo vermelho-amarelo da região dos Tabuleiros Costeiros Sergipanos / Sérgio Carlos Resende. – Viçosa, MG, 2012.
x, 60f. : il. (algumas col.) ; 29 cm.

Inclui anexos.
Orientador: Demétrius David da Silva.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f. 49-57

1. Solos - Manejo. 2. Física do solo. 3. Sustentabilidade. 4. Palha - Utilização na agricultura. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22. ed. 631.4

SÉRGIO CARLOS RESENDE

INFLUÊNCIA DE DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO NAS PROPRIEDADES FÍSICO-HÍDRICAS DE ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO DA REGIÃO DOS TABULEIROS COSTEIROS SERGIPANOS

Tese apresentada a Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do programa de pós-graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Aprovada em: 25/07/2012

Prof. Antonio Teixeira de Matos
Co-orientador
(UFV)

Prof. Silvio Bueno Pereira
(UFV)

Prof. Maria Lúcia Calijuri
(UFV)

Prof. Flávio Aparecido Gonçalves
(UFBA)

Prof. Demetrius David da Silva
Orientador
(UFV)

DEDICO

Aos meus pais *in memoriam* Protázio Inácio Resende e Luíza Gomes Resende pelo amor e ensinamentos dos valores éticos imprescindíveis para o meu crescimento pessoal e profissional.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do curso.

À Embrapa Tabuleiros Costeiros pela concessão da área experimental e laboratórios para que a pesquisa fosse realizada.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos durante nove meses.

Ao meu orientador professor D.Sc. Demetrius David da Silva, pela orientação e confiança depositada para que este trabalho fosse realizado.

Aos meus co-orientadores pesquisador D.Sc. Ronaldo Souza Resende, professor D.Sc. Antonio Teixeira de Matos pela contribuição imprescindível nas etapas deste trabalho.

Aos professores do DINTER: Cecon, Pruski, Márcio Mota e Alisson Borges, pelos conhecimentos transmitidos.

Ao coordenador operacional do DINTER Rogério Amaro Gonçalves pela amizade e solução de procedimentos administrativos do curso.

Aos professores Rubens Oliveira, Paulo Hamakawa, Daniel Hurtado, Mauro Martinez, pela contribuição no projeto e exame de qualificação.

À coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola Lêda Faroni pelo apoio administrativo para a realização do Dinter.

Às servidoras Graça, Edna e Délio pela contribuição administrativa durante o curso.

Aos colegas de doutorado da Engenharia Agrícola (Recursos Hídricos e Ambientais) Zé Roberto, Cássio Noronha, Flávio Bittencourt, Aureo Perreira e Cláudia Cabanellas pelo companheirismo, amizade e colaboração durante o curso.

À minha esposa Daniela e meu filho Rodrigo pela paciência e amor durante os momentos ausentes.

Aos servidores do IFS José Franco, José Aelmo, Neto Xavier, Alfredo Cabral e Ailton Oliveira pela liberação e incentivo a qualificação dos servidores.

SUMÁRIO

RESUMO vii

ABSTRACT ix

1.INTRODUÇÃO 1

2.REVISÃO DE LITERATURA 4

2.1.Tabuleiros Costeiros 4

2.1.1.Diagnóstico da Região dos Tabuleiros Costeiros 4

2.2.Qualidade do Solo 6

2.2.1.Variáveis Físico-Hídricas do Solo 7

2.3.Sistemas de Manejo do Solo 17

3.MATERIAL E MÉTODOS 22

3.1.Caracterização da Área de Estudo e do Experimento 22

3.2.Amostragem e Análises Físico-Hídricas 24

3.2.1.Resistência Mecânica à Penetração 24

3.2.2.Massa Específica do Solo (Densidade Global) 25

3.2.3.Diâmetro Médio Ponderado dos Agregados e Percentagem dos Agregados Estáveis em água 26

3.2.4.Macroporosidade e Microporosidade 28

3.2.5.Capacidade de Campo 29

3.2.6.Ponto de Murcha Permanente 30

3.2.7.Água Disponível 30

4.RESULTADOS E DISCUSSÃO 31

4.1.Resistência Mecânica à Penetração 31

4.2.Densidade do Solo, Percentagem de Agregados Estáveis em Água, Diâmetro Médio Ponderado, Macroporosidade, Microporosidade e Porosida 36

de Total

4.2.1.Massa específica do solo (Densidade do Solo) 37

4.2.2.Percentagem de Agregados Estáveis em Água 39

4.2.3.Diâmetro Médio Ponderado (DMP) 40

4.2.4.Macroporosidade 41

4.2.5.Microporosidade 42

4.2.6.Porosidade Total 43

4.3.Capacidade de Campo, Ponto de Murcha Permanente e Água Disponível 45

5.CONCLUSÕES 48

6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 49

ANEXOS 59

RESUMO

RESENDE, Sérgio Carlos, D.Sc., Universidade federal de Viçosa, Julho de 2012. **Influência de diferentes sistemas de manejo nas propriedades físico-hídricas de Argissolo vermelho-amarelo da região dos Tabuleiros Costeiros Sergipanos**. Orientador: Demetrius David da Silva. Coorientadores: Antonio Teixeira de Matos e Ronaldo Souza Resende.

Os Tabuleiros Costeiros fazem parte de um ecossistema de grande importância na região Nordeste do Brasil, pelo expressivo contingente populacional nele residente, cerca de 45% desta região, como também pela exploração da cana-de-açúcar, fruticultura, culturas anuais e pecuária. Apesar de sua importância, os Tabuleiros Costeiros apresentam limitações como coesão física e deficiência química do solo e, na região em que ocorrem, há irregular distribuição de chuvas, que se concentram em um pequeno período do ano. Sendo assim, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a influência de diferentes sistemas de manejo nas propriedades físico-hídricas como resistência mecânica à penetração, massa específica do solo, percentagem de agregados estáveis em água, diâmetro médio ponderado, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível em Argissolo Vermelho-Amarelo da região dos Tabuleiros Costeiros Sergipanos. Os sistemas de manejo avaliados foram: preparo convencional (gradagem com grade niveladora de discos + aração com arado de discos + gradagem); cultivo mínimo (uma ou duas gradagens com grade niveladora de discos, sendo a segunda gradagem quando da incidência considerável de plantas invasoras); plantio direto (consistindo do não revolvimento do solo), manejados em condições de cultivo com milho (*Zea mays L*.); e vegetação nativa de crescimento espontâneo, após desativação do sistema de pastagem e cultura de citrus. Nas condições dos Tabuleiros Costeiros Sergipanos constatou-se que os sistemas de manejo influenciaram nas propriedades físico-hídricas do solo, sendo que o preparo convencional, por ter proporcionado maior desestruturação do solo, provocou diminuição dos valores de percentagem de agregados estáveis em água, diâmetro médio ponderado, capacidade de campo e água disponível. O plantio direto foi o sistema de manejo no qual as propriedades físico-hídricas do solo mais se aproximaram das existentes em área contendo vegetação nativa, tendo sido obtidos maiores valores de percentagem de agregados estáveis em água, diâmetro médio

ponderado, capacidade de campo, água disponível, e menores valores de massa específica do solo e resistência mecânica à penetração nas camadas de 10 a 20 cm e de 20 a 30 cm. Entretanto, proporcionou maior adensamento e compactação na camada superficial, necessitando de escarificação periódica e rotação de culturas para melhor estruturação do solo nessa camada. O plantio direto pode ser considerado alternativa viável de agricultura de baixa intervenção no meio, por proporcionar melhor estrutura física e retenção de água no solo.

ABSTRACT

RESENDE, Sérgio Carlos, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July 2012. **Influence of different tillage systems in physical-hydrics properties of Red-Yellow Ultisol in Table Lands Sergipanos region**. Advisor: Demétrius David da Silva. Co-advisers: Antonio Teixeira de Matos and Ronaldo Souza Resende.

The Table Lands Sergipanos trays are part of a agroecosystem of great importance in the Northeast by expressive resident population quota, about 45%, but also by the crop of the sugar cane, fruit-growing, annual crops and livestock. Despite its importance, the Table Lands have physical limitations such as cohesion physical and disability chemistry soil, in the region in which they occur, there is irregular distribution of rainfall, which are concentrated in a small period of the year. Thus, this study aimed to evaluate the influence of different management systems in the physical and hydrics properties as penetration resistance, density of the soil, percentage of water stable aggregates, mean weight diameter, macroporosity, microporosity, total porosity, field capacity , wilting point and available water content in Red-Yellow Ultisol the Table Lands Sergipanos region. The management systems were: conventional tillage (plowing with disc harrows + plowing + disc harrowing), minimum tillage (one disking or harrowing with disc, the second harrowing when the high incidence of weeds), no-tillage (consisting of untilled soil), managed in conditions of cultivation with corn (*Zea mays L.*) and native vegetation of spontaneous growth, after deactivation of the system of pasture and citrus cultivation. Under the conditions of the Table Lands Sergipanos found that the management systems influence the physical and hydrics properties of soil, and the conventional tillage to have provided greater disruption of the soil, resulted in lower values percentage of water stable aggregates, average diameter, field capacity and available water. Have no-tillage management system was the more approached to the native vegetation in terms of physical and hydrics properties, obtaining higher values of percentage of water stable aggregates, mean weight diameter, field capacity, available water content, and smaller values of density and mechanical resistance layers 10-20 cm and 20-30 cm. However, provided a higher density of the soil and compaction in the surface layer, requiring periodic chiseling and crop rotation to improve soil structure in this layer.The no-tillage can be considered a viable

alternative to low-intervention in agriculture through, for providing better physical structure and water retention in the soil.

1. INTRODUÇÃO

A busca pela sustentabilidade ambiental e produtiva tornou-se uma necessidade no processo de exploração agrícola, sendo que no desenvolvimento de tecnologias aplicáveis deve ser levado em consideração os aspectos relacionados ao equilíbrio entre fatores bióticos e abióticos. A sustentabilidade deve se fundamentar na proteção do meio ambiente pela redução de fontes poluentes e agentes degradantes, tendo como base antagônica os sistemas de exploração convencionais que se mostraram insustentáveis ao longo dos anos.

Os Tabuleiros Costeiros fazem parte de um ecossistema que ocorre desde o Rio de Janeiro até o Amapá e a sua importância estratégica no Nordeste do Brasil está relacionada não somente ao expressivo contingente de população residente nessa zona fisiográfica, o qual perfaz cerca de 45% da região Nordeste, como também pela exploração dos mesmos com cana-de-açúcar, pecuária, fruticultura e culturas anuais, que geram emprego e renda (Cintra et al., 2001).

Apesar de sua importância, os solos dos Tabuleiros Costeiros apresentam limitações químicas e físicas. Dentre os fatores responsáveis pela baixa produtividade neste ecossistema destacam-se as camadas coesas no topo do horizonte B, da maioria dos solos, como principal limitante físico, seguido de elementos metereológicos como irregular distribuição de chuvas, concentradas num período de seis meses contínuos (Resende, 2009).

O solo tem um importante papel no meio ambiente, funcionando como integrador ambiental e reator, acumulando energia solar na forma de matéria orgânica, reciclando água, nutrientes e outros elementos e alterando compostos químicos (Lavkulich, 1995).

Assim, a qualidade do solo em um agroecossistema consiste na sua capacidade para desempenhar uma ou mais funções relacionadas à sustentação da produtividade agrícola e ambiental, sendo o adequado manejo do solo fundamental para que as interações entre os fluxos de energia estabelecidos pelos fatores físicos, químicos e biológicos determinem as condições necessárias para o seu equilíbrio.

A qualidade do solo representa a combinação das propriedades físicas, químicas e biológicas que fornece informações necessárias para o monitoramento adequado do solo, onde os atributos que refletem a sustentabilidade e capacidade de produção devem ser capazes de mostrar as mudanças provocadas pelos

sistemas de manejo do solo. Assim, para avaliar a qualidade do solo devem ser estudadas algumas de suas propriedades que são consideradas como atributos indicadores (Doran & Parkin, 1994).

As práticas de manejo de solo adotadas na produção agrícola usualmente resultam em degradação da estrutura ou em perturbação dos processos que nele ocorrem e que ajudam a manter os ecossistemas naturais em equilíbrio. Bons indicadores de qualidade do solo devem abranger a variação integral das suas propriedades físicas, químicas e biológicas, para que reflitam suas funções e sejam fáceis de serem medidos sob as mais variadas condições de campo, respondendo às mudanças dos elementos meteorológicos e manejo (Peixoto, 2008).

O uso agrícola das terras, normalmente, altera as propriedades do solo e o grau dessa alteração depende das condições edáficas e climáticas do local. Dessa forma, diferentes sistemas de manejo resultam em mudanças na composição e arranjo dos constituintes do solo que podem, em alguns casos, prejudicar a conservação desse recurso natural e reduzir a produtividade das culturas (Reinert, 1998).

Os sistemas de manejo do solo como o preparo convencional, cultivo mínimo e plantio direto influenciam no comportamento do solo, alterando as propriedades físicas, químicas e biológicas, sendo que as variáveis físico-hídricas resistência mecânica à penetração, massa específica do solo, porosidade, percentagem de agregados estáveis em água, capacidade de campo e água disponível são alguns indicadores de qualidade do solo mais sensíveis e fáceis de serem mensurados, fundamentais para orientar a tomada de decisão no que se refere ao manejo do solo.

Em solos que apresentam características naturais favoráveis ao cultivo, o preparo convencional proporciona degradação nas propriedades físicas, pois o revolvimento rompe os agregados, compacta o solo abaixo da camada preparada e o deixa descoberto. Já o plantio direto, em virtude da pequena mobilização do solo, preserva os agregados e a cobertura do solo, porém consolida a camada superficial (Bertol et al., 2004).

O plantio direto constitui uma alternativa para diminuir a degradação acelerada do solo e, consequentemente, aumentar a sua capacidade produtiva. Isto adquire singular importância nos diversos estados da região Nordeste, em

decorrência da deficiência hídrica que, em maior ou menor grau, está presente em toda a região, fragilizando ainda mais os ecossistemas.

Portanto, na região dos Tabuleiros Costeiros Sergipanos, em virtude das limitações físicas e químicas do solo, com horizontes coesos e baixa CTC, e da irregular distribuição de chuvas como limitação meteorológica, existe a necessidade de estudos de sistemas conservacionistas de manejo de solo que não comprometam a produtividade. Neste contexto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a influência de diferentes sistemas de manejo do solo nas propriedades físico-hídricas resistência mecânica à penetração, massa específica do solo (densidade), percentagem de agregados estáveis em água, diâmetro médio ponderado, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível de Argissolo Vermelho-Amarelo da região dos Tabuleiros Costeiros Sergipanos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1.Tabuleiros Costeiros

O termo Tabuleiros Costeiros é usado na denominação uma forma de superfície do tipo tabular, dissecada por vales profundos e encostas com forte declividade. De modo geral, nas partes mais altas os Tabuleiros Costeiros têm uma topografia plana e com frequência suavemente ondulada, estando relacionados com os sedimentos da formação Barreiras do Terciário. Os solos dos Tabuleiros Costeiros estão distribuídos por quase toda faixa costeira do Brasil, desde o estado do Amapá até o estado do Rio de Janeiro (Jacomine, 2001).

A utilização agrícola dos Tabuleiros Costeiros tem sido estudada há décadas e, na região Nordeste, os Tabuleiros Costeiros têm grande importância, pois ocupando apenas 24% da área da região concentram mais de 50% da população, gerando grande parte da produção agropecuária (Araújo, 2001).

Os Tabuleiros Costeiros apresentam limitações físicas e químicas que interferem na produtividade das culturas nele implantadas. Dentre as limitações químicas destacam-se a baixa capacidade de troca catiônica, a qual é causada pelos baixos teores de matéria orgânica, associado à predominância da caulinita na fração argila, com consequente reduzida fertilidade natural. Dentre as limitações físicas uma das mais importantes é a ocorrência de horizontes coesos, que são pedogeneticamente adensados e limitam a percolação de água, a aeração e o crescimento radicular (Cintra et al., 2001).

2.1.1 Diagnóstico da região dos Tabuleiros Costeiros

2.1.1.1 Precipitação pluviométrica – A região dos Tabuleiros Costeiros localiza-se na faixa litorânea e atravessa ambientes úmidos, semi-úmidos e secos. Mesmo nas zonas mais úmidas, situadas nas partes leste e extremo norte do Nordeste, com precipitação média anual na faixa de 1.000 a 2.400 mm, a contabilidade da água disponível no solo revela a ocorrência de períodos de déficit hídrico em função do regime de distribuição das chuvas e da evapotranspiração potencial elevada, entre 1.200 e 1.400 mm por ano. Na zona mais seca, inserida no contexto semi-árido, as precipitações médias anuais são inferiores a 750 mm e a

evapotranspiração potencial situa-se na faixa de 1.000 a 1.300 mm, apresentando condições de déficit hídrico praticamente durante todo ano (Araújo Filho et al., 2001).

Temperatura – A temperatura média anual está compreendida entre 23 e 24ºC no litoral, entre 25 e 26ºC na Zona da Mata e 24 e 26ºC nos sertões de Pernambuco e Bahia (Jacomine, 2001).

Vegetação – As florestas, cerrados e caatingas são as principais fases de vegetação correlacionadas com diferentes ambientes pedoclimáticos que interagem o quadro regional. As florestas variam desde as áreas mais úmidas até as mais secas e correlacionam-se diretamente com os ambientes de maior disponibilidade de água. Os cerrados, também inseridos nas zonas úmidas, ocorrem de forma mais localizada, podendo ser observados em Sergipe, sul de Alagoas e na Paraíba. As formações caducifólias, como as caatingas, restringem-se às áreas do semi-árido (Araújo Filho et al., 2001).

Geologia – Os Tabuleiros Costeiros constituem uma extensa faixa sedimentar costeira, com poucas interrupções, sendo representados geologicamente pelos sedimentos do Grupo Barreiras de natureza granulométrica variada. As paisagens típicas destes sedimentos são grandes platôs, geralmente dissecados por vales profundos e íngremes com altitude média na faixa de 60 a 200 m. Os estratos mais superficiais correlacionados com o ambiente pedogenético compreendem materiais argilosos, argilo-arenosos, areno-argilosos e, em áreas mais restritas, sedimentos arenosos (Araújo Filho et al., 2001).

Solos – A cobertura pedológica é constituída por solos dessaturados de bases, ácidos e, em grande parte deles, apresentando uma acentuada variação textural entre os horizontes superficiais (mais arenosos) e os de subsuperfície (mais argilosos). Conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa,1999) tais solos enquadram-se dominantemente na ordem dos Argissolos (Araújo Filho et al., 2001).

Os Latossolos também abrangem grandes áreas, apresentando variações texturais menores ou de forma pouco abrupta na passagem entre horizontes. Em menor proporção, ocorrem os solos tipicamente arenosos, que são enquadrados na ordem dos Espodossolos (solos com B espódicos) ou na subordem dos Neossolos Quartzarênicos (solos essencialmente areno-quartzosos). Outros, com baixa

expressão, apresentam quantidades substanciais de materiais ferruginosos (plínticos e/ou concrecionários) e integram a ordem dos Plitossolos (Araújo Filho et al., 2001).

2.2.Qualidade do solo

A qualidade do solo, tendo como referência um conceito agroecológico e ambiental, é definida como sendo a capacidade em desempenhar a sua função em um agroecossistema para suportar plantas e animais, resistir à erosão e reduzir impactos negativos associados aos recursos água e ar (Karlen & Stott, 1994).

Atualmente, estudos relacionados ao solo, como componente importante do funcionamento e qualidade dos diversos ecossistemas, estão sendo desenvolvidos. Para isso, a utilização de indicadores físicos, químicos e microbiológicos tem papel primordial, visto que todo manejo do solo causa intrinsecamente alterações em seus atributos com consequência nas suas funções (Melloni et al., 2008). Os indicadores de qualidade do solo são importantes para focar os esforços de conservação em melhoria das condições do solo, avaliar técnicas e práticas de manejo, relacionar qualidade do solo com outros recursos e coletar informações necessárias para determinar tendências de mudanças na qualidade do solo.

Segundo Islam & Weil (2000), os indicadores de qualidade do solo podem ser distinguidos em três grupos: a) aqueles em que suas mudanças pelas práticas de cultivo ocorrem em curto espaço de tempo, como o conteúdo de água no solo, resistência mecânica à penetração, disponibilidade de nutrientes, biomassa microbiana, respiração basal, e pH; b) os indicadores cujas mudanças ocorrem num maior espaço de tempo, como agregação, densidade e carbono orgânico total; e c) os indicadores que são inerentes ao solo, como a textura e a mineralogia.

Para Pedrotti & Mello Júnior (2009) a qualidade do solo é uma combinação de suas propriedades físicas, químicas e biológicas e do sistema de manejo de solo empregado nas atividades agropecuárias, como o preparo convencional, cultivo mínimo e plantio direto.

Além de fatores intrínsecos ao solo, como matéria orgânica, mineralogia e textura, o manejo dado ao solo pode influenciar na quantidade e distribuição do tamanho de poros (Streck et al., 2004).

Enquanto a proteção da qualidade do solo deve ser a prioridade, frequentemente torna-se necessário tentar restaurar a qualidade de solos já degradados. Alguns solos possuem suficiente resiliência (capacidade de recomposição) para se recuperarem de degradações leves, bastando deixá-los em processo de revegetação natural. Em outras situações, contudo, esforços bem maiores devem ser despendidos para tentar restaurar solos que já foram intensamente degradados. A tarefa de restauração do solo é parte essencial desses esforços, requerendo um profundo conhecimento de todos os aspectos do ecossistema solo para poder realizá-la (Brady & Weil, 2002).

O uso adequado de indicadores tem possibilitado o monitoramento e a avaliação de diferentes ecossistemas, facilitando a seleção de sistemas de uso e manejo do solo que mantenham sua qualidade ambiental e sustentabilidade, abordando a qualidade do solo e os principais indicadores que apresentam potencial de utilização do monitoramento das variações nos seus diversos compartimentos em função do manejo (Melloni et al., 2008).

O monitoramento da qualidade do solo pelos atributos físicos é importante para a avaliação e manutenção da sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Um indicador da qualidade do solo deve ser sensível às variações do manejo ao qual está sendo submetido (Pereira et al., 2011).

2.2.1.Variáveis físico-hídricas do solo

- Resistência mecânica à penetração

A resistência mecânica do solo à penetração é uma das propriedades físicas do solo que influenciam diretamente o crescimento das raízes e da parte aérea das plantas (Letey, 1985).

A resistência do solo à penetração (RMP) tem sido utilizada, ao longo de muitos anos, para inúmeras aplicações em diversas áreas da pesquisa agronômica, sendo várias já consolidadas, tais como: detecção de camadas compactadas, no estudo da ação de implementos e máquinas no solo, prevenção de impedimento mecânico ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas, predição da força de

tração necessária em diversas operações agrícolas e para conhecimento de processos de umedecimento e de ressecamento (Assis et al., 2009).

A resistência do solo à penetração refere-se à resistência oferecida pela matriz do solo contra a deformação provocada pelo crescimento das raízes. Com a elevação da resistência do solo à penetração, a força exercida pelas raízes, necessárias ao deslocamento das partículas do solo se torna limitante e o crescimento radicular é reduzido (Silva & Giarola, 2001).

A resistência mecânica do solo à penetração é devida a dois fatores: a) compressão das partículas primárias e b) fricção entre as partículas primárias e agregados durante o movimento relativo da raiz. A resistência à penetração é resultante de forças oriundas da compactação, que é definida pela densidade aparente, conteúdo de água e textura do solo (Rosolem et al., 1999). De maneira geral, considera-se de 2,0 a 2,5 MPa a faixa crítica de resistência do solo com redução importante no crescimento radicular para a maioria das culturas (Taylor, 1971).

Canarache (1990) considera que valores de RMP acima de 2,5 MPa começam a restringir o pleno crescimento das raízes da maioria das plantas. Beutler et al. (2006) enfatizam que valores de 2,0 a 3,0 MPa são limitantes à produtividade de soja; Merotto & Mundstock (1999) indicam que RMP maior que 3,5 MPa causa severa limitação ao crescimento de plantas de trigo. Em pesquisa realizada por Mendes (1989), em Latossolo muito argiloso, foi observado que para RMP superior a 1,8 MPa ocorreu decréscimo de 70 % no enraizamento da cultura do milho.

Na avaliação da resistência mecânica à penetração de raízes no solo, têm sido utilizados, na maioria das pesquisas, estudos de penetrometria por causa da facilidade e rapidez na obtenção dos resultados, apesar das reconhecidas diferenças entre uma raiz e um cone metálico. Além disso, a dependência dos resultados em relação ao conteúdo de água e densidade do solo dificulta sua interpretação (Klein et al., 1998).

Segundo Klein (2008), a resistência mecânica à penetração pode ser medida em campo e em laboratório. A determinação da resistência à penetração diretamente no campo apresenta alguns inconvenientes e dificuldades, como a necessidade de determinação instantânea do conteúdo de água do solo nas

distintas profundidades e locais de determinação, visto que existe uma variabilidade espacial desse atributo.

A resistência do solo à penetração de um cone penetrômetro é um indicador secundário de compactação e não é medição física direta de qualquer condição específica do meio, sendo altamente influenciada pelo conteúdo de água no solo. Assim, a densidade do solo não pode ser acuradamente inferida pela leitura de penetrômetro se os seus conteúdos de água não são conhecidos (Mantovani, 2004).

- Massa específica do solo (densidade do solo)

A massa específica do solo é afetada por cultivos que alteram a sua estrutura e, por consequência, o arranjo e volume dos poros. Essas alterações afetam propriedades físico-hídricas do solo importantes, como a porosidade, a retenção de água, a disponibilidade de água para as plantas e a resistência mecânica à penetração (Klein, 2008).

A massa específica do solo é uma propriedade física que reflete o arranjamento das partículas do solo, que por sua vez define as características do sistema poroso, sendo um importante indicativo das condições de manejo e, consequentemente, da porosidade, da permeabilidade e da capacidade de armazenamento de água nesse meio (Melloni et al., 2008).

A massa específica do solo e a porosidade dos solos têm sido largamente utilizadas na avaliação da qualidade estrutural dos mesmos, pois se tratam de propriedades de fácil determinação e que sofrem pequena influência do conteúdo de água no momento da coleta da amostra (Reichert et al., 2003).

A massa específica é uma variável física por meio da qual se pode avaliar o grau de compactação em um mesmo tipo de solo, no qual o manejo adequado, objetiva proporcionar condições ótimas ao desenvolvimento das plantas (Klein et al., 2008).

O aumento no conteúdo volumétrico de sólidos traduz-se em aumento na massa específica do solo e grande redução na macroporosidade, na quantidade de água prontamente disponível à planta e na capacidade de aeração. Essas alterações, além de favorecerem a formação de ambiente redutor, com possibilidade de profundas alterações químicas no meio, comprometem a infiltração/percolação de

água e a penetração das raízes, tornando os solos mais suscetíveis à erosão (Borges et al., 1999).

Segundo Reinert & Reichert (2001), os valores críticos propostos de densidade do solo para culturas comerciais são: a) solo com horizonte de textura argilosa, com mais de 55% de argila ≅ 1,45 Mg m^{-3}; b) solo com horizonte de textura média, com argila entre 20 e 55% ≅ 1,55 Mg m^{-3} e; c) solo com textura arenosa, com menos de 20% de argila ≅ 1,65 Mg m^{-3} .

- Macro e microporosidade

A estrutura ideal do solo é aquela que possibilita grande área de contato raiz-solo, além de suficiente espaço poroso para o movimento de água e gases e pouca resistência à penetração das raízes. A condição de estar ou não com a estrutura natural pode, por esta razão, ser tomada como importante fator de qualidade do solo, devendo ser utilizada em modelos que visem quantificar a sua qualidade física (Matos, 2009).

Uma quantidade adequada de solução do solo e ar, no solo, especialmente oxigênio, é essencial para o crescimento das plantas e produção das culturas. Assim, a fração de volume de poros do solo, comumente denominada porosidade, é uma propriedade muito importante nos solos (Koorevaar et al., 1994), embora, em termos físico-hídricos, de maior importância é a razão macro/microporos. Segundo White (2009), o tamanho, a forma, o arranjo das partículas e agregados determinam o espaço poroso ou a porosidade do solo, que é definida como a razão do volume de poros pelo volume total do solo.

A dinâmica da água no solo também é uma característica modificada de acordo com o uso do solo, por ser dependente de fatores como a porosidade (quantidade, continuidade e tamanho), uma vez que a compactação e a descontinuidade dos poros reduzem a permeabilidade, implicando empobrecimento e perda de solo por erosão hídrica (Souza & Alves, 2003).

A porosidade do solo é considerada um dos atributos físicos mais importantes a ser considerado na avaliação da qualidade estrutural do solo. A compactação, ao reduzir o volume de macroporos, diminui a aeração do solo, podendo afetar o desenvolvimento e a produtividade das plantas (Hillel, 1998).

Os poros podem ser divididos em macroporos (principais responsáveis pela movimentação de água e ar no solo) e microporos (responsáveis pela retenção de água por capilaridade). A porosidade depende do arranjo das partículas do solo, sendo que partículas mais uniformes propiciam maior porosidade ao solo, já solos com grande desuniformidade no tamanho de partículas resultam em menor porosidade (partículas mais finas tendem a preencher os espaços livres existentes entre as mais grosseiras) (Pedrotti & Mello Júnior, 2009).

Segundo Klein (2008), a distribuição do diâmetro dos poros no solo tem papel preponderante na determinação da qualidade física do solo. Inúmeras classificações do diâmetro de poros são citadas na literatura, das quais uma forma mais simplificada separa os poros em duas classes: macroporos, com diâmetro maior que 0,06mm, e microporos, com diâmetro igual ou menor que 0,06mm.

Para Richards (1965) os macroporos são os poros com diâmetro maior que 0,05mm e os microporos são os que possuem diâmetro igual ou menor que 0,05mm.

Os microporos são os responsáveis pela retenção e armazenamento da água e os macroporos pela aeração e infiltração/percolação da água no solo (Reinert & Reichert, 2006).

O solo ideal é aquele que tem a porosidade total de 50%, sendo um terço, ou seja, cerca de 17% de macroporos ocupados pelo ar do solo, e dois terços, cerca de 33%, de microporos responsáveis pela retenção de água (Assis et al., 2009; Genro Júnior et al., 2009).

- Agregados

A estrutura do solo pode ser definida como o arranjo das partículas primárias do solo, ou seja, das frações argila, silte e areia que formam as partículas secundárias ou agregados, sendo que a matéria orgânica tem papel fundamental nesse processo (Corrêa et al., 2009).

Um dos atributos mais importantes para se avaliar a qualidade do solo é a sua estrutura, porque reflete a natureza de seus componentes primários e expressa como estes se agregam, determinando a distribuição do tamanho de poros, estabilidade de agregados e como o uso afeta o escoamento de água e o potencial

de erosão, o comportamento da fauna microbiana e a dinâmica da matéria orgânica (Melloni et al., 2008).

O solo é composto de um conjunto de agregados de diferentes tamanhos e estabilidade. Se formado naturalmente é denominado *ped*, apresentando diferentes formas morfológicas (prisma, bloco, grânulo) e tamanhos. Se formado artificialmente pela atividade do homem ao arar, escavar, entre outras atividades, é denominado torrão (Curi et al., 1993).

Ao avaliar a agregação de solos busca-se, conhecer a distribuição de tamanho, quantidade e estabilidade dos agregados. As variáveis de agregação são importantes para determinar a quantidade e distribuição dos espaços porosos associados com os agregados e a susceptibilidade do solo à erosão (Jury et al., 1991).

O estado de agregação do solo tem influência na infiltração/percolação de água, biodiversidade, dinâmica da biomassa, disponibilidade de oxigênio às raízes e erosão (Denef et al., 2001). Também é de grande importância para as atividades agrícolas, uma vez que está relacionado com a aeração, desenvolvimento radicular, suprimento de nutrientes, resistência mecânica à penetração e, retenção e armazenamento de água no solo (Dufranc et al., 2004).

A qualidade do solo pode ser analisada segundo variáveis relacionadas à sua forma e à sua estabilidade e, entre as propriedades físicas do solo, a estrutura e a agregação estão entre os parâmetros mais sensíveis ao manejo (Stone & Schlegel, 2010).

Segundo Brady & Weill (1999), a formação e estabilização de agregados tem como principais responsáveis a atividade microbiana e as hifas de fungos. De acordo com Sousa Neto et al. (2008), os macroagregados se formam pela ação física, unindo os microagregados e as partículas de solo, e pelas exsudações de polissacarídeos e de outros compostos orgânicos que formam uma rede que se liga e agrupa partículas individuais de solo com pequenos microagregados.

- Conteúdo de água do solo

O conteúdo de água do solo influencia diretamente na taxa de infiltração da água no solo, bem como a sua resistência mecânica à penetração e a compactação,

entre outros fatores. Logo, é de capital importância o conhecimento do conteúdo de água do solo para estudos de movimento da água nesse meio, disponibilidade de água, erosão, época e quantidade de água a ser aplicada na irrigação (Bernardo et al., 2009).

Há vários métodos para determinar o conteúdo de água no solo, sendo mais usados os gravimétricos, eletrométricos, tensiométricos, sonda de nêutrons e TDR (Bernardo et al., 2009).

- Capacidade de campo

Segundo Reichardt (1988), enfatizando o conceito de Veihmeyer e Hendrickson (1949), a capacidade de campo é definida como a quantidade de água retida pelo solo depois que o excesso tenha drenado e a taxa de movimento descendente tenha decrescido acentuadamente, o que geralmente ocorre dois a três dias depois de uma chuva ou irrigação em solos permeáveis, de estrutura e textura uniformes.

Para White (2009), quando a infiltração termina, a redistribuição da água ocorre à custa da zona inicialmente saturada do solo. Se o solo estiver totalmente umedecido, até o lençol freático, ou até uma saída artificial como um dreno, a drenagem cessa quando o potencial matricial que atua para cima contrabalança o gradiente de potencial gravitacional para baixo. Mesmo quando o solo não estiver completamente umedecido com a profundidade, a taxa de drenagem torna-se muito pequena, 1 a 2 dias após a chuva ou irrigação. Possivelmente isso se deve à queda brusca na condutividade hidráulica quando a maioria dos macroporos drenou sua água, assim o teor de água atingido após 2 dias, na ausência de evaporação, define a capacidade de campo (CC), que corresponde aos potenciais matriciais entre -5 e -10 kPa.

A água drenada para baixo da zona radicular, ou para dentro de um dreno, não mais será disponível para a planta. Considerando que o solo esteja saturado numa condição de lençol freático profundo, a água terá um movimento vertical para baixo, que somente diminuirá expressivamente quando o teor de água do solo for tal que a sua condutividade hidráulica se torne muito pequena. Quando isso acontece, diz-se que o solo está em condição de capacidade de campo (Bernardo et al., 2009).

Segundo Klein (2008) é comum, para fins de obtenção da capacidade de campo, a utilização indiscriminada do potencial de 1/3 atm, correspondente a 33 kPa, o que não é válido para todas situações práticas. Isso ficou comprovado em diversos estudos que utilizaram o método do perfil instantâneo, que consiste em saturar um perfil de um solo e cobri-lo com uma lona de plástico para impedir a perda de água por evaporação; nessa condição, somente ocorrerá a drenagem de água em profundidade. Monitorando o potencial com o uso de tensiômetros pode-se determinar o momento em que a drenagem é muito pequena (equilíbrio entre potencial gravitacional e potencial mátrico), o qual pode ser considerado o potencial correspondente ao do associado à condição de capacidade de campo.

Segundo Reichardt & Timm (2008), o conceito de capacidade de campo ainda não tem uma definição consistente, embora seja considerado, por muitos, um critério prático e útil para estabelecimento do limite superior de água que um solo pode reter. Nessas condições, a capacidade de campo deve, necessariamente, ser determinada no campo e sempre deve-se estar ciente de suas limitações.

Em razão da medição no campo consumir muito tempo e ser limitada a pequeno número de áreas, a determinação do conteúdo de água correspondente ao da capacidade de campo é feita, usualmente, em laboratório (Bernardo et al., 2009). São dois os métodos mais comumente usados com essa finalidade:

a) Método do equivalente de umidade – É pouco preciso, mas de rápida execução. Consiste em centrifugar uma pequena amostra, usualmente de 1 cm de espessura, dentro de um recipiente com o fundo telado e coberto com papel-filtro. A amostra de solo é colocada dentro do recipiente, saturada, colocada na centrífuga e submetida a uma velocidade equivalente a uma força de 100 vezes a força da gravidade, durante 30 minutos. Esse procedimento proporciona à amostra o mesmo conteúdo de água caso ela fosse submetida a uma pressão equivalente a 0,4 atm. Este valor de pressão é maior que a pressão equivalente àquela associada à capacidade de campo, obtida no campo, mas como a amostra de solo não tem as mesmas condições físicas do solo original, o conteúdo de água resultante é aproximado ao da capacidade de campo, principalmente para solos de textura fina. Para solos de textura grossa, o valor encontrado por este método é menor do que o da capacidade de campo, precisando então o valor do resultado da amostra ser multiplicado por um fator maior que 1.

b) Método da curva de pressão - A pressão correspondente à capacidade de campo, dependendo do tipo de solo, pode variar de 1/20 a 1/3 de atm. A pressão considerada como equivalente à da capacidade de campo é de 1/10 de atmosfera, em solos de textura grossa, e de 1/3 de atmosfera, em solos de textura fina. Em solos típicos do cerrado é comum encontrar a capacidade de campo com valores de 1/20 atm; em solos arenosos, 1/10 de atm; e em solos de textura mais fina típico, 1/3 de atm. O conteúdo de água na capacidade de campo pode variar de menos de 8%, em peso, em solos arenosos, a até mais de 30% em solos argilosos.

Na determinação em campo, o solo é completamente umedecido, até uma profundidade de mais ou menos 1,5 m, por meio de irrigação ou represamento de água, em uma bacia de 2 m de diâmetro, durante o tempo necessário. Após o umedecimento do solo, sua superfície é coberta com um plástico para evitar evaporação. O conteúdo de água é então determinado, usualmente em intervalos de 12 horas, por amostragem em cada camada de 10-20 cm, até a profundidade desejada. A amostragem e determinação do conteúdo de água devem continuar até que se note que sua variação, no período de 24 horas, tenha se tornado mínima ao longo do perfil (Bernardo et al., 2009).

- Ponto de murcha permanente

Segundo Klein (2008), o ponto de murcha permanente é aquele em que o conteúdo de água no solo ocasiona às plantas perdas de turgescência das folhas e dessa murcha as mesmas não se recuperam quando colocadas num ambiente escuro e saturado.

O ponto de murchamento representa o conteúdo de água no solo abaixo do qual a planta não conseguirá retirar água na mesma intensidade com que ela transpira. Isso aumenta a cada instante a deficiência de água na planta, o que levará a morte, caso não seja irrigada, sendo o limite mínimo de água armazenada no solo que será usada pelos vegetais (Bernardo et al., 2009).

Sua determinação é comumente utilizada em laboratório, utilizando-se as mesmas metodologias utilizadas para a capacidade de campo, porém com amostras submetidas a maiores tensões. Em campo é complicado trabalhar com a

determinação desse parâmetro, visto que as metodologias são trabalhosas e complexas (Mantovani et al., 2009).

Em campo, é comum notar que à tarde alguns vegetais murcham, mesmo estando o solo com conteúdo de água relativamente alto. Eles recuperam a turgidez durante a noite e permanecem túrgidos até a tarde do dia seguinte. Este caso é denominado “murchamento temporário”, mais comum durante os dias mais quentes. Então o ponto de murchamento é aquele em que a planta que murcha durante a tarde não recupera a sua turgidez durante a noite, permanecendo murcha na manhã seguinte. Somente recuperará sua turgidez após uma irrigação ou chuva (Bernardo et al., 2009).

- Água disponível

A dinâmica da água no solo é influenciada por características como classe textural, macroporosidade e matéria orgânica, que determinam a sua retenção no perfil por adsorção e/ou capilaridade, definindo o estado energético da água e, também, por fatores externos, como precipitação pluvial, radiação solar, temperatura, evapotranspiração da cultura, densidade de plantas e sistema de manejo do solo (Martorano et al., 2009).

A água disponível às plantas, classicamente definida como uma característica estática, representa a quantidade de água que um solo poderia reter ou armazenar entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente. Esse conceito pressupõe que a água do solo entre os conteúdos de água correspondentes à saturação e à capacidade de campo não é disponível às plantas, vindo a se perder nas partes mais profundas do perfil do solo, por ação da gravidade. Em verdade, o conceito clássico de água disponível é um critério para caracterizar o solo no que se refere à sua capacidade de armazenar água (Bernardo et al., 2009).

A água disponível de um solo pode ser facilmente calculada, desde que se conheçam os conteúdos de água correspondentes à capacidade de campo e ao ponto de murcha permanente, as propriedades físicas e a profundidade do solo (Bernardo et al., 2009).

Segundo Souza & Alves (2003), a dinâmica da água no solo também é uma característica modificada de acordo com o uso do solo, por ser dependente de

fatores como a porosidade (quantidade, continuidade e tamanho), uma vez que a compactação e a descontinuidade dos poros reduzem a permeabilidade, implicando em empobrecimento e perda de solo por erosão hídrica.

2.3. Sistemas de manejo do solo

O manejo do solo altera suas propriedades físico-hídrico-mecânicas e, por consequência, o desenvolvimento das plantas e a produtividade das culturas. Inúmeras são as constatações de que a estrutura do solo seja negativamente afetada quando o solo é mal manejado, com aumento na densidade e consequente redução na porosidade total e aeração, além do aumento na resistência mecânica do solo à penetração (Klein et al., 2009).

Os sistemas de manejo mal conduzidos podem promover a degradação física do solo, com reflexos ambientais e na produtividade (Aratani et al., 2009). Em termos agronômicos, os sistemas de uso e manejo devem manter a capacidade do solo exercer as funções físicas para o crescimento e fixação das raízes, bem como favorecer o suprimento de água, nutrientes e oxigênio às plantas (Blainski et al., 2008).

Modificações na estrutura do solo associadas à compactação, ao adensamento e à perda da estabilidade dos agregados alteram a distribuição do tamanho dos poros, bem como a retenção, o movimento e a disponibilidade de água no solo (Machado et al., 2008).

Segundo White (2009), o bom manejo do solo deve ajudar a criar condições físicas ótimas para o crescimento vegetal como: aeração adequada para as raízes e micro-organismos, disponibilidade adequada de água, fácil penetração de raízes, possibilitando a exploração de água e nutrientes do solo, germinação rápida e uniforme de sementes, além de resistência do solo à desagregação.

A habilidade das plantas em explorar o solo em busca de fatores de crescimento depende grandemente da distribuição de raízes no perfil que, por sua vez, é dependente das condições físicas e químicas, as quais são passíveis de alterações em função do manejo adotado. A erosão é outro fenômeno altamente dependente do manejo. Portanto, o manejo do solo pode afetar, num grau variado,

tanto características intrínsecas quanto extrínsecas do solo, em que a compactação tem papel de destaque (Kertzman, 1996).

Segundo Assis et al. (2009), os efeitos do preparo do solo também são dependentes das condições climáticas predominantes e da intensidade de tráfego aplicado ao solo, posteriormente.

As alterações que ocorrem na estrutura do solo de acordo com o manejo utilizado durante o processo produtivo podem ser verificadas pelas altas densidades, dificultando a penetração das raízes no solo (Kiehl, 1979).

- Plantio direto

O plantio direto (PD) consiste na semeadura direta sem o preparo do solo, através de semeadeiras especiais que, operando sobre os restos da cultura anterior, efetuem pequena movimentação do solo, apenas nos sulcos onde são distribuídas as sementes e o adubo suficientes para proporcionar boa cobertura e germinação das sementes (Calegari & Medeiros, 2001).

No plantio direto, o solo é mobilizado somente na linha de semeadura, sendo considerada a melhor dentre todas as práticas de seu preparo, principalmente no que se refere à preservação das condições estruturais de seu perfil e às perdas de matéria e nutrientes, por erosão, além das vantagens da manutenção do conteúdo de água em períodos de estiagem prolongada, maior flexibilidade no planejamento das práticas culturais, entre outras (Pruski et al., 2006).

No sistema de plantio direto, os restos culturais permanecem sobre a superfície do solo, promovendo o acúmulo de matéria orgânica e de resíduos na camada superficial e reduzindo, por consequência, suas flutuações térmicas e hídricas (Vieira, 1981).

A formação e manutenção de uma cobertura morta fornecem proteção contra o impacto das gotas de chuvas, reduzindo o escoamento superficial, o transporte de sedimentos e, consequentemente, a erosão. Atua, ainda, na proteção do solo contra o efeito dos raios solares, reduzindo a evaporação, a temperatura e a amplitude térmica do solo, além da ação de ventos. Com a sua decomposição, incorpora matéria orgânica ao solo, necessária a uma maior e mais rica atividade microbiana, o que permite maior reciclagem de nutrientes (Cruz et al., 2002).

A presença de uma camada de palha sobre a superfície do solo exerce, ainda, um papel importante no controle das plantas daninhas, devido ao efeito físico que limita a passagem de luz, criando dificuldades para que haja a germinação das sementes e pela barreira que forma, dificultando o crescimento inicial das plântulas. Outra possibilidade é através dos efeitos alelopáticos oriundos da decomposição da fitomassa ou exsudação das raízes que liberam substâncias que vão exercer algum tipo de efeito inibitório nas sementes, impedindo a germinação, ou nas plantas, interferindo em algum processo do seu desenvolvimento. Isso proporciona crescimento retardado ou paralisado, havendo casos em que ocorre a morte da planta (Alvarenga et al., 2002).

O uso do sistema de plantio direto tem resultado em redução expressiva na degradação do solo, em razão da ausência de revolvimento e da contínua deposição de resíduos vegetais em superfície (Mentges et al., 2010). A adoção desse sistema é indicada como uma das alternativas de sistemas agrícolas sustentáveis, embasado nos princípios de menor revolvimento do solo e no aporte contínuo de material orgânico (Sousa Neto et al., 2008).

O grau com que o sistema de plantio direto altera as propriedades físicas é muito variável e ainda pouco conhecido, geralmente pela grande variação de solos e clima, além da grande variação de operações, tamanho de equipamentos e tipos de culturas (Reichert et al., 2009).

No entanto, à medida que o conhecimento do sistema plantio direto se amplia, verifica-se que o uso de indicadores químicos isolados não permite melhor caracterização dos solos, sendo necessário utilizar um conjunto de indicadores da qualidade do solo com a inclusão de outros atributos, entre eles os físicos e os biológicos (Carneiro et al., 2009).

- Cultivo mínimo

No sistema de cultivo mínimo utiliza-se quantidade mínima de operações, desde o preparo do solo até os tratos culturais, necessárias para criar condições à germinação da semente e estabelecimento da cultura. Sendo assim, o manejo estabelecido pelo cultivo mínimo faz com que haja menor desgaste das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, obtendo maior produtividade

com a conservação dessas propriedades dentro dos limites aceitáveis (Curi et al., 1993).

O preparo do solo através dos métodos de cultivo mínimo pode contribuir para a redução dos processos erosivos e manutenção da fertilidade natural dos solos, favorecendo o desenvolvimento e fortalecimento de sua estrutura, além de proteger contra o impacto das gotas de chuva, em função do acúmulo da fitomassa após a colheita da cultura (Silva et al., 2006).

Este sistema consiste na mobilização suficiente e necessária para o estabelecimento e desenvolvimento da cultura. Em geral, é realizado com duas gradagens leves, envolvendo, assim, menor mobilização do solo quando comparado ao sistema convencional (Pedrotti, 1996).

Segundo Tormena et al.(2008), nos solos de textura argilosa e muito argilosa, a compactação das camadas superficiais tem-se constituído numa das preocupações para o manejo do solo em plantio direto, especialmente com o uso intenso da sucessão de culturas.

- Preparo convencional

As operações agrícolas que envolvem mobilização e tráfego de máquinas alteram a estrutura do solo e modificam as condições que determinam o ambiente de crescimento radicular (Reichert et al., 2009).

Na época do auge da revolução verde houve aumento na intensidade de uso do solo e da mecanização, principalmente com as operações de aração e gradagem, com consequente degradação da estrutura original do solo. A ação dos elementos ativos dos equipamentos de preparo de solo causa modificações, seja pulverizando os horizontes superficiais, seja promovendo a compactação mecânica dos horizontes subsuperficiais (pé de grade/pé de arado). A modernização da agricultura e a utilização mais intensa de máquinas agrícolas provocaram mudanças nos atributos físicos do solo, principalmente na sua estrutura (Assis & Lanças, 2010).

Com o crescimento da população e da demanda por alimentos, novas tecnologias têm surgido visando ao aumento da produtividade e a redução nos custos de produção. Se por um lado essas tecnologias proporcionam aumentos na produção e redução de custos, por outro o tráfego intenso de máquinas altera a

estrutura do solo, tornando-o compactado, comprometendo, assim, a produtividade agrícola (Assis et al., 2009).

O sistema de cultivo convencional é basicamente realizado em duas etapas, que são o preparo primário e o secundário. O preparo primário consiste numa operação mais grosseira, realizadas com arados ou grades pesadas, que visam revolver o solo, além de ser utilizado também para incorporação de corretivos, fertilizantes, resíduos vegetais e plantas daninhas ou para descompactação. Na segunda etapa, preparo secundário, faz-se a operação de nivelamento da camada arada com gradagens ditas de nivelamento do terreno (Alvarenga et al, 2002).

As alterações provocadas pelo preparo convencional, principalmente as que envolvem as características físicas e químicas do solo, como a alteração na distribuição dos agregados estáveis em água, densidade do solo, taxa de infiltração/percolação de água no solo e distribuição de nutrientes e corretivos no perfil do solo são uma função da intensidade das operações que, em níveis elevados, desestruturam o solo nas suas diferentes camadas (Pedrotti,1996).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização da Área de Estudo e do Experimento

O trabalho foi realizado na Estação Experimental da Embrapa Tabuleiros Costeiros, no município de Umbaúba-SE, em solo classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo (Embrapa, 2006). A região possui, de acordo com a classificação Köppen, clima do tipo As', Tropical chuvoso com verão seco e pluviometria em torno de 1.200 mm anuais, com chuvas concentradas nos meses de abril a setembro.

O experimento implantado é de longa duração, tendo completado o décimo ciclo de condução no ano de 2011, estudando o comportamento de quatro sistemas de manejo de solo: preparo convencional – PC (gradagem com grade niveladora de discos + aração com arado de discos + gradagem); cultivo mínimo – CM (uma ou duas gradagens com grade niveladora de discos, sendo a segunda gradagem quando da incidência considerável de plantas invasoras); plantio direto – PD (consistindo do não revolvimento do solo), manejados em condições de cultivo com milho (*Zea mays L*.); e vegetação nativa de crescimento espontâneo - VN, após desativação do sistema de pastagem e cultura de citrus.

As profundidades utilizadas para análise de algumas das propriedades físico-hídricas do solo (massa específica do solo, diâmetro médio ponderado dos agregados, percentagem de agregados estáveis em água, macro e microporosidade), nos quatro sistemas de manejo adotados, foram de 0 a 10 cm, 10 a 20 cm e 20 a 30 cm.

No delineamento experimental foi adotado o esquema de parcelas subdivididas, com delineamento em blocos casualizados com quatro repetições. As parcelas foram formadas pelos quatro sistemas de manejo do solo (preparo convencional, cultivo mínimo, plantio direto e vegetação nativa) e as subparcelas pelas três profundidades (0 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm).

As parcelas experimentais apresentaram área de 480 m^2 (12 x 40 m), com espaço entre parcelas para manobras de máquinas e implementos (Figuras 1 e 2). Destaca-se que a parcela com vegetação nativa foi restabelecida no início da implantação do experimento, em 2002, sendo que anteriormente a área era ocupada por citrus e pastagem.

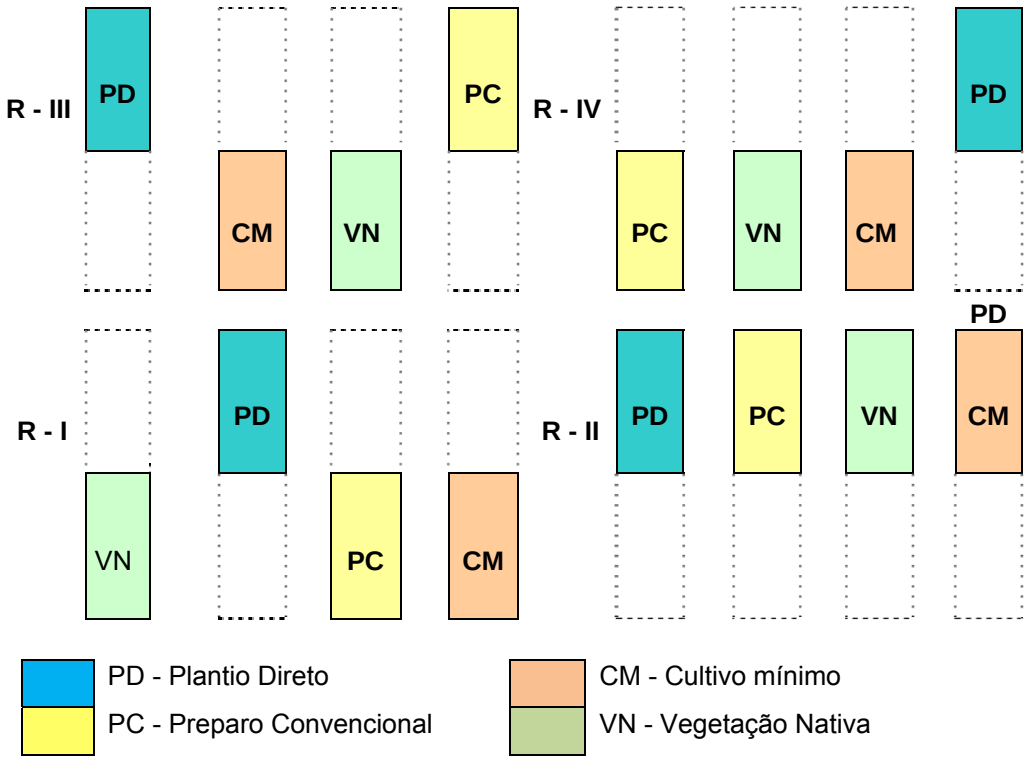

Figura 1. Representação do delineamento experimental em blocos casualizados com quatro repetições, destacando os sistemas de manejo do solo.

Figura 2. Vista parcial da área experimental, em solo classificado como Argissolo Vermelho-amarelo, com destaque para a divisão das parcelas e marcação das linhas de plantio.

Para avaliação e análise estatística das variáveis físico-hídricas massa específica do solo (densidade do solo), diâmetro médio ponderado dos agregados, percentagem de agregados estáveis em água, macro e microporosidade, os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade e à comparação de médias por meio do teste de Tukey, usando-se o programa SAEG (UFV, 2007).

Para controle de invasoras durante o ciclo das culturas foi utilizada capina com enxada no cultivo mínimo e preparo convencional e capina química (herbicida) no plantio direto, quando necessário. A adubação e a calagem foram feitas de acordo com a análise química do solo, segundo recomendações técnicas.

Para fins de análise da resistência mecânica à penetração (RMP) também foram utilizadas três profundidades (0 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm), apesar de não ter sido feita análise estatística dos dados, pois neste caso adotou-se o critério de avaliar se os resultados de RMP, nos quatro sistemas de manejo e nas três profundidades adotadas, atingiam ou não o valor de 2,0 a 2,5 MPa proposto por Taylor (1971), Canarache (1990) e Beutler et al. (2006), considerado como limitante para o crescimento radicular da maioria das culturas, principalmente as culturas anuais.

As amostras para fins de determinação da capacidade de campo e ponto de murcha permanente foram retiradas a uma profundidade de 0 a 30 cm, em função da maior concentração do sistema radicular da cultura do milho nesta região, não sendo submetidas à análise estatística em decorrência da pequena faixa de variação destas variáveis nos distintos sistemas de manejo do solo.

Apesar de o experimento ter iniciado em 2002, os dados utilizados no presente trabalho referem-se ao período de dezembro de 2010 a setembro de 2011.

3.2. Amostragem e análises físico-hídricas

3.2.1. Resistência mecânica à penetração (RMP)

Para fins de determinação da resistência mecânica à penetração (RMP) foram coletadas amostras indeformadas nas profundidades de 0 a 10 cm, 10 a 20 cm e 20 a 30 cm, as quais foram saturadas e submetidas, na Câmara de Richards, às tensões de 0,006, 0,033 e 1,5 MPa, correspondentes, respectivamente, aos

conteúdos de água na saturação, capacidade de campo e ponto de murcha permanente, conforme Embrapa (1997).

Na sequência as amostras foram submetidas ao ensaio de RMP utilizando-se penetrógrafo de bancada (Figura 3) com cone de 4 mm de diâmetro, ângulo de 45º e velocidade de penetração de 10 mm/min (Pacheco, 2010), sendo o penetrógrafo interligado a um computador para registro dos dados, expressos em kgf e depois transformados em kgf/cm^2 pela divisão por 0,1257 cm^2 (área do cone) para, finalmente, serem transformados em MPa, multiplicando-se por 0,0981.

Os valores de RMP obtidos nos diferentes sistemas de manejo e profundidades foram analisados comparativamente com base no limite de 2,0 a 2,5 MPa proposto por Taylor (1971), Canarache (1990) e Beutler et al. (2006).

Figura 3. Penetrógrafo de bancada utilizado na determinação da resistência mecânica à penetração em laboratório.

3.2.2. Massa específica do solo (densidade global)

Para determinação da massa específica do solo foram coletadas amostras indeformadas nas profundidades de 0 a 10 cm, 10 a 20 cm e 20 a 30 cm, com quatro repetições em cada sistema de manejo. Após coletadas, as amostras foram

acondicionadas em latas de alumínio, previamente identificadas, e encaminhadas ao laboratório para serem colocadas na estufa a 105ºC por 24 h e depois pesadas; o cálculo da massa específica foi efetuado dividindo-se a massa de solo seco pelo volume do anel (Blake & Hartge, 1986).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade e à comparação de médias por meio do teste de Tukey, usando-se o programa SAEG (UFV, 2001). Os resultados obtidos foram comparados entre os sistemas de manejo como também nas suas diferentes profundidades, identificando qual sistema resultou em maior compactação e adensamento do solo.

3.2.3. Diâmetro médio ponderado dos agregados e percentagem de agregados estáveis em água

As amostras indeformadas de solo para determinação do diâmetro médio ponderado e percentagem de agregados estáveis em água foram retiradas em blocos de solo com 40 cm de profundidade e largura (Figura 4), sendo individualizadas nas profundidades de 0 a 10 cm, 10 a 20 cm e 20 a 30 cm.

Figura 4. Coleta de amostras indeformadas para determinação de agregados.

O diâmetro médio ponderado dos agregados e a percentagem de agregados estáveis em água foram determinados segundo Kemper & Chepil (1965), a partir de massas de solo retidas em peneiras com malhas de 2,0; 1,0; 0,5 e 0,25 mm de abertura, após peneiramento úmido em aparelho de oscilação vertical (Yoder, 1936). O equipamento foi ajustado para realizar 42 ciclos por minuto, com altura de oscilação das peneiras de 4 cm, por um período de 5 minutos. Concluído o período de oscilação as amostras foram levadas para secar em estufa por 24 horas a 105ºC e, na sequência, colocadas em solução de hidróxido de sódio por 10 minutos e agitadas por 2 minutos para dispersão da argila, para finalmente serem passadas nas respectivas peneiras e pesadas, obtendo-se a proporção de cada classe (> 2,0; 2,0 – 1,0; 1,0 – 0,5 e 0,5 – 0,25 mm) em relação ao total.

Foi utilizada a Equação 1 para cálculo do diâmetro médio ponderado:

$$DMP = \Sigma (xi.wi) \quad (1)$$

em que,

xi = diâmetro médio das classes, expresso em mm;

wi = proporção de cada classe em relação ao total, em decimal.

A percentagem de agregados estáveis em água foi calculada pela Equação 2:

$$PAi = 100\frac{MAi}{MAT} \quad (2)$$

em que,

PAi =porcentagem de agregados da classe i;

MAi = massa de agregados da classe i, Mg;

MAT = massa total de agregados descontada a fração inerte, Mg.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade e à comparação de médias por meio do teste de Tukey, usando-se o programa SAEG (UFV, 2001). Os resultados obtidos foram comparados entre os sistemas de manejo como também nas suas diferentes profundidades, identificando qual sistema apresenta melhor estrutura de solo em termos de agregados.

3.2.4. Macroporosidade e microporosidade

A macroporosidade e a microporosidade foram determinadas pelo método do anel volumétrico (Blake, 1965). As amostras de solo foram retiradas nas profundidades de 0 a 10 cm, 10 a 20 cm e 20 a 30 cm em anéis volumétricos de volumes conhecidos, retirando-se o excesso de solo com uma faca e cobrindo a face inferior com gaze presa por um elástico.

Em seguida, as amostras foram levadas para o laboratório e colocadas com a parte da gaze para baixo numa bandeja, para saturar com água destilada por 24 h, até ocorrer o espelhamento da parte superficial da amostra para, na sequência, serem pesadas. Depois as amostras foram levadas para a mesa de tensão (Figura 5), onde foi aplicada uma sucção de 60 cm de coluna d`água, aguardando 12 a 24 horas até que a amostra entrasse em equilíbrio.

Figura 5. Mesa de tensão para determinação da macro e microporosidade.

Na sequência, as amostras foram retiradas da mesa de tensão, realizando o processo de pesagem e secagem para determinação do volume total de poros, microporosidade e macroporosidade de acordo com as equações 3, 4 e 5:

$$PT = \frac{Vv}{Vt} \quad (3)$$

em que,

PT = porosidade total, $m^3\ m^{-3}$;

Vv = volume de água no solo saturado obtido por equivalência com a massa de água no solo saturado, m^3;

Vt = volume total da amostra, m^3.

$$\theta = \frac{V_{H_2O,60cm}}{Vv} \quad (4)$$

em que,

θ = microporosidade, $m^3\ m^{-3}$;

$V_{H2O,60cm}$ = volume de água da amostra em equilíbrio com sucção correspondente a 60 cm de coluna de água, m^3.

$$\varepsilon = PT - \theta \quad (5)$$

em que,

ε = macroporosidade, $m^3\ m^{-3}$.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade e à comparação de médias por meio do teste de Tukey, usando-se o programa SAEG (UFV, 2001). Os resultados obtidos foram comparados entre os sistemas de manejo como também nas suas diferentes profundidades, identificando qual sistema apresenta melhor estrutura de solo em termos de porosidade.

3.2.5. Capacidade de campo

O conteúdo de água referente à capacidade de campo foi determinado em laboratório, sendo as amostras indeformadas coletadas a uma profundidade de 0 a 30 cm em anéis de alumínio, usando o coletor Uhland.

As amostras foram colocadas numa bandeja com água destilada na metade da altura do anel, por um período de 24 horas, depois levadas para a câmara de Richards e submetidas a uma tensão de 0,033 MPa.

Em seguida, as amostras foram pesadas, colocadas na estufa a 105 ºC durante 24 horas e pesadas novamente para determinação do conteúdo de água correspondente à capacidade de campo (Embrapa, 1997).

3.2.6. Ponto de murcha permanente

O conteúdo referente ao ponto de murcha permanente foi determinado em laboratório, coletando-se amostras indeformadas em anéis de alumínio na profundidade de 0 a 30 cm, usando o coletor Uhland.

As amostras foram colocadas numa bandeja com água destilada na metade da altura do anel por um período de 24 horas, depois levadas para a câmara de Richards e submetidas a uma tensão de 1,5 MPa até estabilização.

Em seguida as amostras foram pesadas, colocadas na estufa a 105º durante 24 horas e pesadas novamente para determinação do conteúdo de água correspondente ao ponto de murcha permanente (Embrapa, 1997).

3.2.7. Água disponível

A água disponível foi determinada pela diferença dos conteúdos correspondentes à capacidade de campo e ao ponto de murcha permanente.

Os resultados foram analisados, determinando-se qual sistema de manejo de solo promoveu maior capacidade de retenção de água no solo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Resistência mecânica à penetração (RMP)

Na avaliação da resistência mecânica à penetração (RMP) utilizando o penetrógrafo digital, após aplicação das tensões associadas aos conteúdos correspondentes à saturação do solo (0,006 MPa), capacidade de campo (0,033 MPa) e ponto de murcha permanente (1,5 MPa), observou-se que os valores de RMP aumentaram em função da tensão aplicada.

No Quadro 1 são apresentados os resultados de resistência mecânica à penetração, em MPa, na condição de saturação do solo, para os quatro sistemas de manejo adotados e três profundidades.

Quadro 1. Valores médios de resistência mecânica à penetração (RMP), em MPa, na condição de saturação do solo, para os quatro sistemas de manejo adotados e três profundidades

Prof. (cm)	RMP (MPa)			
	PD	**CM**	**PC**	**VN**
0 a 10	0,93	0,77	0,36	0,47
10 a 20	0,51	1,12	0,72	0,74
20 a 30	0,66	1,56	1,30	1,06

Na tensão de 0,006 MPa, correspondente ao conteúdo da saturação do solo, nenhum sistema de cultivo apresentou valores de resistência mecânica à penetração acima de 2 MPa, considerado crítico ao crescimento do sistema radicular da maioria das culturas (Taylor, 1971; Canarache, 1990; Beutler et al., 2006).

Na profundidade de 0 a 10 cm, em plantio direto foram obtidos maiores valores de RMP em relação aos demais sistemas de cultivo, decorrente do adensamento das partículas de solo na camada superficial em função do tempo de cultivo, apesar da diminuição do impacto das chuvas pelos restos culturais na camada superficial.

O preparo de solo convencional proporcionou menores valores de RMP nessa profundidade, decorrente do revolvimento no preparo do solo, o que causa certa desestruturação, fazendo com que a resistência mecânica à penetração seja menor.

Nas profundidades de 10 a 20 cm e 20 a 30 cm o plantio direto obteve menores valores de RMP, decorrente do menor adensamento em função da conservação da estrutura física do solo. Já o preparo convencional e o cultivo mínimo, devido à ação da mecanização, provocando a compactação do solo, apresentaram maiores valores de resistência à penetração.

Resultados semelhantes foram encontrados por Reichert et al.(2009), em que o sistema plantio direto apresentou maiores valores de RMP na camada superficial, decorrente do adensamento semelhante à formação de camadas compactadas em profundidades maiores no preparo convencional por aração e gradagem. Os autores verificaram que, até 0,2 m de profundidade, os tratamentos preparo convencional e escarificado recente tiveram menores valores de RMP, comparados com os sistemas plantio direto e escarificado com 1 ano, ocorrendo um comportamento inverso a partir da camada de 0,2 a 0,3 m, o que pode ser atribuído ao "pé-de-arado" formado pelo preparo convencional adotado na área.

Segundo Assis et al. (2009), em solos cujas propriedades mecânicas dependem essencialmente das forças de coesão, a RMP permanece praticamente constante ao longo da profundidade. Com o aumento do teor de água decresce a atuação das forças de coesão entre as partículas do solo e o atrito interno, promovendo a diminuição da RMP, ou seja, à medida que se aumenta o teor de água diminui-se a RMP. Dessa forma, é importante o controle do teor de água na determinação da RMP permitindo, assim, evidenciar os efeitos dos sistemas de manejo sobre a estrutura do solo.

Com base nos resultados apresentados no Quadro 1 comprova-se, portanto, que em condições de alto conteúdo de água nenhum dos quatro sistemas de manejo apresentou restrições ao crescimento radicular, pois os valores de RMP foram inferiores a 2 MPa que, segundo Taylor (1971), é o limite para o crescimento radicular da maioria das culturas.

No Quadro 2 são apresentados os resultados de resistência mecânica à penetração, em MPa, na condição de capacidade de campo, para os quatro sistemas de manejo adotados e três profundidades.

Quadro 2. Valores médios de resistência mecânica à penetração (RMP), em MPa, na condição de capacidade de campo, para os quatro sistemas de manejo adotados e três profundidades

Prof. (cm)	RMP (MPa)			
	PD	**CM**	**PC**	**VN**
0 a 10	1,10	1,08	1,03	0,87
10 a 20	1,18	1,40	1,20	1,03
20 a 30	1,21	**2,21**	1,65	1,69

Na tensão de 0,033 MPa, correspondente ao conteúdo de água à capacidade de campo do solo, observa-se que, na profundidade 0 a 10 cm, o plantio direto resultou em maiores valores de resistência à penetração, apesar dos resultados serem próximos aos obtidos nos demais sistemas de manejo do solo. Já na área de vegetação nativa foram obtidos os menores valores de RMP, nessa profundidade, seguida do preparo convencional e cultivo mínimo, respectivamente.

Nas parcelas com vegetação nativa, cujo uso antes do experimento era pastagem e citricultura, a vegetação que predomina espontaneamente são as gramíneas que, em função do comportamento do sistema radicular, podem melhorar a estrutura do solo e proporcionar menores valores de RMP. No preparo convencional e cultivo mínimo, esses menores valores de RMP em relação ao plantio direto foram decorrentes do revolvimento do solo através da mecanização.

Na profundidade 10 a 20 cm, a vegetação nativa e o plantio direto apresentaram os menores valores de RMP, caracterizando que o não revolvimento do solo promove melhor estruturação física nessa profundidade. O cultivo mínimo e o preparo convencional proporcionaram maiores valores de RMP em função da mecanização, provocando maior compactação aliada ao processo natural de coesão na região dos Tabuleiros Costeiros.

Na profundidade 20 a 30 cm, os valores de RMP aumentaram bastante no cultivo mínimo, ultrapassando 2 MPa, sendo que no preparo convencional e vegetação nativa os valores obtidos foram próximos ao limite crítico de 2 MPa. Enfatiza-se que nas parcelas com vegetação nativa, apesar de não haver a compressão do solo pela mecanização, a compactação pode ser decorrente do processo de coesão que se forma naturalmente nos Tabuleiros Costeiros, bem como pela vegetação espontânea predominante ser gramínea, sob a qual a estruturação

do solo ocorre principalmente na profundidade de 20 a 25 cm. No cultivo mínimo e preparo convencional esse aumento de compactação pode ser decorrente da coesão natural e processo de mecanização. Já o plantio direto, pelo não revolvimento do solo associado a uma cultura de sistema radicular que promove melhor estruturação do solo, como o milho, resultou em menores valores de RMP nessa profundidade.

Segundo Assis et al.(2009), vários autores recomendam que a RMP seja medida com o conteúdo de água próximo ao da capacidade de campo, situação em que se consegue boa correlação entre a densidade do solo, a resistência à penetração e o crescimento radicular. No entanto, o período em que o solo permanece na capacidade de campo é pequeno, de modo que a resistência do solo pode rapidamente variar de níveis não impeditivos para impeditivos com a secagem do mesmo.

Por essa razão, segundo Reichert et al.(2009) o monitoramento contínuo da resistência do solo é fundamental para a interpretação dos efeitos sobre o crescimento radicular da cultura.

Resultados de maior adensamento na camada subsuperficial de 10 a 20 cm no sistema plantio direto foram encontrados por Mentges et al.(2010), corroborando os resultados encontrados no presente trabalho, sendo que nos demais sistemas de manejo do solo a compactação intensificou à medida que se aumentou a profundidade.

Em trabalho realizado por Secco et al.(2009), em condições de plantio direto, foi obtido maior adensamento na profundidade de 8 a 15 cm em relação aos demais sistemas de manejo de solo, sendo esse adensamento reduzido com o aumento da profundidade. Resultados semelhantes ao presente trabalho foram encontrados por Reinert et al. (2008).

No Quadro 3 são apresentados os resultados de resistência mecânica à penetração, em MPa, na condição de ponto de murcha permanente, para os quatro sistemas de manejo adotados e três profundidades.

Quadro 3. Valores médios de resistência mecânica à penetração (RMP), em MPa, na condição de ponto de murcha permanente, para os quatro sistemas de manejo adotados e três profundidades

Prof. (cm)	RMP (MPa)			
	PD	**CM**	**PC**	**VN**
0 a 10	**2,23**	1,97	1,72	1,24
10 a 20	1,96	**2,16**	**2,11**	1,26
20 a 30	**3,38**	**3,61**	**2,67**	1,89

Na avaliação da resistência mecânica à penetração no conteúdo de água correspondente à tensão de 1,5 MPa, relativa ao ponto de murcha permanente, o plantio direto apresentou os maiores valores, entre os quatro sistemas de manejo adotados, na camada superficial de 0 a 10 cm, enfatizando que nessa camada a vegetação nativa obteve os menores valores de RMP, sendo que o plantio direto superou o valor crítico ao crescimento radicular da maioria das culturas.

Para a profundidade 10 a 20 cm apenas a vegetação nativa e o plantio direto não atingiram o limite crítico de RMP, observando que no solo com baixo conteúdo de água, ou seja, no ponto de murcha permanente, os sistemas de manejo de solo cultivo mínimo e preparo convencional apresentam valores de RMP impeditivos ao desenvolvimento radicular das culturas, sendo que o plantio direto apresentou valores muito próximos ao limite crítico ao desenvolvimento radicular das culturas.

Na profundidade de 20 a 30 cm todos os sistemas de manejo de solo atingiram o limite crítico de RMP ao desenvolvimento radicular das culturas, com exceção da vegetação nativa, observando que esses valores aumentaram em relação às demais profundidades.

Foi observado que à medida que se diminuiu o conteúdo de água do solo a resistência mecânica à penetração aumentou, bem como quando se aumentou a profundidade, exceto no plantio direto, onde a RMP foi maior na camada superficial em relação à camada subsuperficial.

Resultados semelhantes foram encontrados por Lanzanova et al.(2010), em que o plantio direto apresentou maior resistência à penetração na camada superficial (até 3 cm) e por Oliveira et al.(2007) e Torres et al.(2011), na condição de ponto de murcha permanente, em que somente a vegetação nativa não atingiu o limite crítico

de 2 MPa em relação aos outros sistemas de manejo, refletindo o estado de preservação da estrutura do solo sob condições naturais.

Em trabalho realizado por Torres & Saraiva (1999), os valores de RMP atingiram níveis altamente impeditivos ao crescimento radicular (acima de 3,5 MPa) com o secamento do solo. No entanto, em trabalho realizado por Cunha et al. (2011), ao utilizar plantas de cobertura, não foram observadas diferenças significativas na resistência do solo à penetração (RMP) e no conteúdo de água do solo, em nenhuma das camadas consideradas, seja sob preparo convencional ou semeadura direta, divergindo dos resultados encontrados no presente trabalho.

Andrade et al. (2010) observaram que a resistência mecânica à penetração aumentou em todos os tratamentos quando se aumentou a profundidade.

4.2. Massa específica do Solo, Percentagem de Agregados Estáveis em Água, Diâmetro Médio Ponderado, Macroporosidade, Microporosidade e Porosidade Total

Analisando a variância das variáveis físicas cujas médias foram testadas estatisticamente a 5% pelo teste de Tukey (Quadro 4), observa-se que houve diferença significativa entre os tratamentos para as seguintes variáveis: percentagem de agregados estáveis em água (% Agr), diâmetro médio ponderado (DMP) e porosidade total (P.tot), sendo que a interação dos tratamentos com a profundidade somente foi significativa para a variável massa específica do solo (Mass). Ressalta-se, ainda, que houve significância para a profundidade nas variáveis macroporosidade e porosidade total.

Quadro 4. Resumo da Análise de Variância das variáveis físicas massa específica do solo (Mass), percentagem de agregados estáveis em água (% Agr), diâmetro médio ponderado (DMP), macroporosidade (Mac), microporosidade (Mic) e porosidade total (P.tot)

		QUADRADOS MÉDIOS					
FV	**GL**	**Mass**	**% Agr**	**DMP**	**Mac**	**Mic**	**P.tot**
BL	3	0,0999	25,376	0,02707	0,006536	0,001035	0,004908
TR	3	0,0811^{ns}	73,462*	0,11340*	0,005319^{ns}	0,000727^{ns}	0,003903*
R(a)	9	0,0800	12,622	0,02201	0,005186	0,001792	0,00114
P	2	0,0225 ^{ns}	3,959 ^{ns}	0,03745^{ns}	0,009485*	0,001330^{ns}	0,00443*
TR x P	6	0,05603*	16,040^{ns}	0,01356^{ns}	0,002265^{ns}	0,0004971^{ns}	0,00183^{ns}
R(b)	24	0,01439	13,051	0,0228	0,001211	0,0007460	0,00091
MÉDIA GERAL		1,45	28,03	0,69	0,15	0,24	0,38
CV(%)1		19,51	12,68	21,50	48,00	17,64	8,89
CV(%)2		8,30	12,89	21,59	24,07	11,60	8,01

* - F significativo a 5% de probabilidade.
ns – F não significativo a 5% de probabilidade.
CV1 - Correspondente às parcelas (sistemas de manejo).
CV2 – Correspondente às subparcelas (profundidades).

4.2.1. Massa específica do Solo (densidade do solo)

Com base nos dados apresentados no Quadro 4, observa-se, no que diz respeito à massa específica do solo, que houve interação significativa em nível de 5% entre os sistemas de manejo e a profundidade. No Quadro 5, verifica-se que o plantio direto apresentou menor massa específica do solo que os demais sistemas de manejo para as camadas 10 a 20 e de 20 a 30 cm, não apresentando diferença significativa na camada de 0 a 10 cm.

QUADRO 5. Valores médios de massa específica do solo (Mg m^{-3}) nos quatro sistemas de manejo e três profundidades adotadas

Prof. (cm)	SISTEMAS DE MANEJO			
	PD	**CM**	**PC**	**VN**
0 a 10	1,57A a	1,45A a	1,48A a	1,37A a
10 a 20	1,16B b	1,42A a	1,59A a	1,42A a
20 a 30	1,32B b	1,48A a	1,57A a	1,46A a

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem em nível de 5% pelo teste de Tukey.

Observa-se, ainda, que na profundidade 0 a 10 cm, apesar do solo da área coberta com vegetação nativa apresentar menores valores absolutos de massa

específica do solo, o que poderá assegurar melhor qualidade física do mesmo, e o plantio direto apresentar maiores valores de massa específica do solo em relação ao preparo convencional e cultivo mínimo, não houve diferença significativa entre os sistemas de manejo nesta profundidade. Tal comportamento na camada superficial do plantio direto provavelmente decorre do adensamento provocado pelos ciclos de umedecimento e secagem do solo, potencializado pelo não revolvimento do mesmo neste sistema, o que proporciona naturalmente um adensamento desta região e a consequente redução da taxa de infiltração da água no solo, reforçando a necessidade de manutenção de uma boa cobertura morta para diminuir o impacto das gotas de chuva, controlando a níveis aceitáveis o processo de erosão hídrica do solo (Pruski et al., 2006).

Em relação às camadas subsuperficiais de 10 a 20 e de 20 a 30 cm, observa-se que o plantio direto apresentou os menores valores de massa específica do solo em relação aos demais tratamentos, que não apresentaram diferença significativa entre si, enfatizando, que apesar da camada superficial apresentar maior adensamento, neste sistema não são realizadas práticas de mecanização que revolvam o solo, fazendo com que haja melhor continuidade dos macroporos nas camadas subsuperficiais, promovendo melhor estruturação do solo em decorrência da matéria orgânica deixada na camada superficial, cuja decomposição ocorre de forma mais lenta, promovendo melhor rearranjo das partículas do solo.

No que diz respeito à influência da profundidade na massa específica do solo dos diferentes sistemas de manejo, constata-se, no Quadro 5, que apenas para o plantio direto houve diferença significativa, sendo a massa específica do solo da camada superficial de 0 a 10 cm maior que das demais camadas.

Resultados de maior massa específica do solo na camada superficial no plantio direto em relação ao convencional foram encontrados por diversos autores (Sousa Neto et al., 2008; Schaffrath et al., 2008; Domingos et al., 2009 e Fidalsk et al., 2009), sendo que no presente trabalho não foram encontradas diferenças significativas entre os sistemas de manejo, apesar do maior valor absoluto de massa específica do solo na camada superficial no plantio direto.

Neste contexto, Carneiro et al. (2009) observaram que nos primeiros anos de plantio direto ocorreu aumento na massa específica do solo do solo pelo rearranjo

das suas partículas, mas com a consolidação do sistema houve aumento nos teores de carbono orgânico e, com isso, diminuição na densidade do solo.

Já Reichert et al. (2009) e Almeida et al. (2008) verificaram na camada superficial menores valores de massa específica do solo no plantio direto em relação ao preparo convencional. Segundo Reichert et al. (2007) o grau com que o sistema de plantio direto altera as propriedades físicas é muito variável e, ainda, pouco conhecido, geralmente pela grande variação de solos e clima, além da grande variação de operações, tamanho de equipamentos e tipos de culturas.

4.2.2. Percentagem de Agregados Estáveis em Água

Com base nos dados apresentados no Quadro 4, observa-se, no que diz respeito à Percentagem de Agregados Estáveis em Água, que houve diferença significativa em nível de 5% de probabilidade entre os sistemas de manejo adotados, não havendo, entretanto, significância para a profundidade nem para a interação entre os sistemas de manejo e a profundidade.

No Quadro 6, que apresenta os valores médios da percentagem de agregados estáveis em água para os quatro sistemas de manejo adotados e três profundidades, verifica-se que o plantio direto e a vegetação nativa não diferiram estatisticamente em nível de 5% de probabilidade e foram superiores ao preparo convencional, que apresentou os menores valores de percentagem de agregados estáveis em água.

QUADRO 6. Valores médios de Percentagem de Agregados Estáveis em Água (%) para os quatro sistemas de manejo adotados e três profundidades adotadas

Prof. (cm)	SISTEMAS DE MANEJO			
	PD	**CM**	**PC**	**VN**
0 a 10	31,10	26,20	23,73	32,45
10 a 20	29,23	28,96	24,89	26,75
20 a 30	29,06	29,53	24,78	29,64
MÉDIA	29,79 A	28,23 AB	24,47 B	29,61 A

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra maiúscula na linha não diferem em nível de 5% pelo teste de Tukey.

Esse comportamento dos sistemas de manejo de solo evidencia que o plantio direto, por ser um sistema de manejo conservacionista, proporciona melhores condições de agregação ao longo do tempo. O preparo convencional, por revolver o solo frequentemente, promove maior desagregação e redução da percentagem de agregados estáveis em água.

Resultados semelhantes foram obtidos por Assis & Lanças (2010), que verificaram que a percentagem de agregados maiores do que 2 mm, na profundidade de 0 a 5 cm, foi crescente com o tempo de adoção do sistema plantio direto e que o preparo convencional apresentou maior percentual de agregados menores do que 1 mm.

4.2.3. Diâmetro Médio Ponderado (DMP)

Com base nos dados apresentados no Quadro 4, observa-se, no que diz respeito ao Diâmetro Médio Ponderado, que houve diferença significativa em nível de 5% de probabilidade entre os sistemas de manejo adotados, não havendo, entretanto, significância para a profundidade nem para a interação entre os sistemas de manejo e a profundidade.

No Quadro 7, que apresenta os valores médios de Diâmetro Médio Ponderado para os quatro sistemas de manejo adotados e três profundidades, verifica-se que o plantio direto, a vegetação nativa e o cultivo mínimo não diferiram estatisticamente em nível de 5% de probabilidade, bem como o plantio direto, o cultivo mínimo e o preparo convencional, sendo que a vegetação nativa foi superior ao preparo convencional, que apresentou os menores valores de Diâmetro Médio Ponderado (DMP).

QUADRO 7. Valores médios de diâmetro médio ponderado (mm) para os quatro sistemas de manejo adotados e três profundidades adotadas

Prof. (cm)	SISTEMAS DE MANEJO			
	PD	**CM**	**PC**	**VN**
0 a 10	0,85	0,63	0,61	0,90
10 a 20	0,76	0,66	0,58	0,75
20 a 30	0,64	0,64	0,58	0,75
MÉDIA	0,75 AB	0,64 AB	0,59 B	0,80 A

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra maiúscula na linha não diferem em nível de 5% pelo teste de Tukey.

Esses valores superiores de DMP na vegetação nativa em relação ao preparo convencional são decorrentes do maior aporte de material orgânico decomposto lentamente na camada superficial, no qual a influência da matéria orgânica no solo intensifica a atividade microbiana na produção de exsudados para a formação e estabilização dos agregados. Isso não é verificado no preparo convencional, por apresentar maior compactação, devido ao processo de mecanização utilizado, que promove a desestruturação de agregados do solo (Pedrotti & Mello júnior, 2009). No entanto, no plantio direto, como não há o revolvimento do solo, a tendência é que haja melhora na estruturação do solo, em termos de agregação ao longo dos anos.

Assis & Lanças (2010) observaram que a mata nativa e o plantio direto com 12 anos apresentaram maior diâmetro médio ponderado na camada de 0 a 5 cm, bem como o tempo de adoção no sistema plantio direto favoreceu a agregação do solo, estabelecendo que o DMP dos agregados do solo maiores do que 2 mm foram crescentes com o tempo de adoção do sistema plantio direto.

4.2.4. Macroporosidade

Com base nos dados apresentados no Quadro 4, no que diz respeito à macroporosidade, observa-se que não houve diferença significativa em nível de 5% de probabilidade entre os sistemas de manejo adotados e nem interação significativa entre os sistemas de manejo e a profundidade, havendo somente diferença significativa para as profundidades nos diferentes sistemas de manejo.

No Quadro 8 verifica-se que houve diferença significativa nos valores de macroporosidade para as diferentes profundidades.

QUADRO 8. Valores médios de macroporosidade (m^3 m^{-3}) para os quatro sistemas de manejo adotados e três profundidades adotadas

Prof. (cm)	SISTEMAS DE MANEJO				
	PD	**CM**	**PC**	**VN**	**MÉDIA**
0 a 10	0,18	0,13	0,15	0,21	0,17 a
10 a 20	0,13	0,10	0,17	0,12	0,13 b
20 a 30	0,10	0,11	0,15	0,16	0,13 b

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra minúscula na coluna não diferem em nível de 5% pelo teste de Tukey.

Em relação à macroporosidade nas diferentes profundidades, observa-se que a profundidade 0 a 10 cm foi superior às profundidades 10 a 20 e 20 a 30 cm, que

foram iguais. Destaca-se, ainda, que apesar de não ter sido encontrada diferença significativa entre os diferentes sistemas de manejo, que para a profundidade de 0 a 10 cm a vegetação nativa e o plantio direto proporcionaram maior conservação e formação dos macroporos.

Como não houve diferença significativa entre os sistemas de manejo no que se refere à macroporosidade, esse comportamento pode ser decorrente do tempo de condução do experimento, visto que, como não há irrigação no experimento, os cultivos só estão sendo realizados uma vez ao ano no período chuvoso. No entanto, observa-se que na área de plantio direto e coberta com vegetação nativa foram obtidos os maiores valores absolutos de macroporosidade.

Resultados semelhantes de macroporosidade na camada superficial foram encontrados por Aratani et al. (2009) e Torres et al. (2011), enfatizando que o plantio direto não diferiu estatisticamente do preparo convencional. Em trabalho realizado por Viana et al. (2011), esses autores constataram que a vegetação nativa foi superior estatisticamente ao plantio direto e preparo convencional em termos de macroporosidade.

4.2.5. Microporosidade

Com base nos dados apresentados no Quadro 4, no que diz respeito à microporosidade, observa-se que não houve diferença significativa em nível de 5% de probabilidade entre os sistemas de manejo adotados, entre as profundidades, assim como não houve interação significativa entre os sistemas de manejo e a profundidade. No Quadro 9 são apresentados os valores médios de microporosidade obtidos nos diferentes sistemas de manejo e profundidades.

QUADRO 9. Valores médios de microporosidade (m^3 m^{-3}) para os quatro sistemas de manejo adotados e três profundidades adotadas

Prof. (cm)	SISTEMAS DE MANEJO			
	PD	**CM**	**PC**	**VN**
0 a 10	0,22	0,23	0,23	0,22
10 a 20	0,25	0,23	0,20	0,22
20 a 30	0,25	0,24	0,24	0,23

Apesar dos tratamentos plantio direto, vegetação nativa e cultivo mínimo proporcionarem resultados médios absolutos superiores aos obtidos no preparo convencional, não houve diferença significativa entre eles, sendo provável que esse comportamento seja decorrente do tempo de condução do experimento e da pouca exploração de cultivo durante o ano, o que faz com que haja certa resiliência nos sistemas de cultivo explorados. Espera-se, entretanto que, com o decorrer dos anos de exploração o plantio direto, por ser um sistema conservacionista, mostre-se superior ao cultivo mínimo e ao preparo convencional.

Resultados semelhantes foram encontrados por Almeida et al. (2008) e Torres et al.(2011) que obtiveram valores de microporosidade estatisticamente iguais no plantio direto e no preparo convencional.

4.2.6. Porosidade Total

Com base nos dados apresentados no Quadro 4, observa-se, no que diz respeito à Porosidade Total, que houve diferença significativa em nível de 5% de probabilidade entre os sistemas de manejo adotados e, também, na profundidade, não havendo, entretanto, interação significativa entre os sistemas de manejo e a profundidade.

No Quadro 10, que apresenta os valores médios de porosidade total para os quatro sistemas de manejo adotados e três profundidades, verifica-se que a profundidade de 0 a 10 cm foi superior à profundidade de 20 a 30 cm, que estatisticamente foi considerada igual à profundidade de 10 a 20 cm.

Quanto aos sistemas de manejo de solo adotados, observa-se que a vegetação nativa, o plantio direto e o preparo convencional não diferiram estatisticamente em nível de 5% de probabilidade e que a vegetação nativa e o plantio direto foram superiores ao cultivo mínimo, que apresentou os menores valores de porosidade total.

Observa-se que a vegetação nativa e o plantio direto, apesar de estatisticamente não serem superiores ao preparo convencional, apresentaram os maiores valores absolutos de porosidade total, mostrando que esses sistemas tendem a proporcionar melhores condições de porosidade do solo para o desenvolvimento das culturas no decorrer do tempo, visto que na relação da

porosidade total com a macroporosidade, a vegetação nativa e o plantio direto foram os sistemas que melhor relação obtiveram, sendo a vegetação nativa 1/2,4; o plantio direto 1/2,8; se aproximando de 1/3, que segundo alguns pesquisadores (Assis et al.2009; Genro et al.2009) é a relação ideal para um dos parâmetros de qualidade do solo em termos de porosidade, visto que o preparo convencional e o cultivo mínimo, devido ao uso frequente da mecanização, provocam maior destruição dos macroporos.

Constata-se, portanto, que o cultivo mínimo para essas condições de manejo, solo e clima, foi o sistema que mais apresentou comportamento de desestruturação com relação à porosidade total.

QUADRO 10. Valores médios de porosidade total (m^3 m^{-3}) para os quatro sistemas de manejo adotados e três profundidades adotadas

Prof. (cm)	SISTEMAS DE MANEJO				
	PD	**CM**	**PC**	**VN**	**MÉDIA**
0 a 10	0,40	0,36	0,36	0,43	0,39 a
10 a 20	0,38	0,34	0,35	0,35	0,36 b
20 a 30	0,36	0,35	0,38	0,38	0,37 ab
MÉDIA	0,38 A	0,35 B	0,36 AB	0,39 A	

As médias seguidas de pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem em nível de 5% pelo teste de Tukey.

Resultados de maiores valores de porosidade total no plantio direto em relação ao plantio convencional foram encontrados por Andrade et al. (2010) e Pereira et al. (2011). Cunha et al. (2011) observaram que o solo sob mata nativa, por não sofrer o trânsito de máquinas e equipamentos ou animais, apresentou maiores valores de macroporosidade e porosidade total em relação aos demais sistemas de manejo estudados.

Silva et al. (2008) observaram decréscimo da porosidade total nos sistemas de ação antrópica, com destaque para os solos sob plantio direto e preparo convencional, que tiveram decréscimos de 3,0 a 12,5 % na porosidade total (Pt) e de 16,4 a 45,6% na macroporosidade (Ma), em relação aos valores observados para os solos sob cerrado nativo pastejado.

4.3. Capacidade de Campo (CC), Ponto de Murcha Permanente (PMP) e Água Disponível (AD)

Analisando dados de capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível, submetidos a diferentes sistemas de manejo adotados, apresentados na Figura 1, observa-se que a área coberta com vegetação nativa obteve os maiores valores de capacidade de campo, seguida do plantio direto, cultivo mínimo e preparo convencional, enfatizando que o comportamento do solo quanto à capacidade de campo pode ser alterado à medida que se intensifica as operações mecanizadas que ocorrem nos sistemas não conservacionistas.

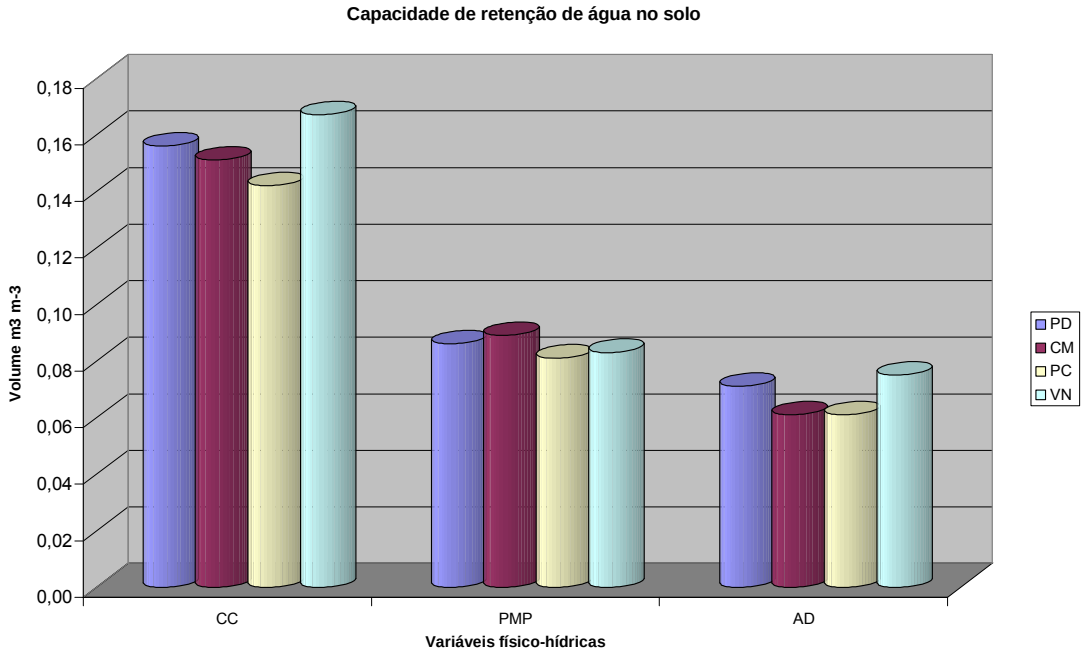

FIGURA 1. Resultados de capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e água disponível (AD) em (m^3 m^{-3}) nos diferentes sistemas de manejo adotados

Quanto ao ponto de murcha permanente, observa-se que o cultivo mínimo obteve os maiores valores, seguido do plantio direto, vegetação nativa e preparo convencional, respectivamente. Segundo Bernardo et al. (2009), à medida que se aproxima do ponto de murchamento, o fenômeno de retenção de água pelo solo não pode mais ser explicado pela força capilar ou pressão superficial, assim a água é retida pela força de adsorção entre as partículas do solo e as moléculas de água, visto que a pressão da água do solo da qual não haverá água disponível para que as

plantas possam se desenvolver varia de 5 a 25 atmosferas, dependendo da planta ou da condição do ambiente.

Para a variável água disponível observa-se que a vegetação nativa e o plantio direto obtiveram os maiores valores, caracterizando o plantio direto como um sistema conservacionista, tendo em vista proporcionar maior capacidade de retenção de água no solo em relação ao preparo convencional e cultivo mínimo.

Em virtude das condições de clima e solo, observa-se que os sistemas de manejo de solo empregados no presente trabalho influenciaram no comportamento do solo, alterando algumas propriedades físico-hídricas como a capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível, fazendo com que o plantio direto, por ser um sistema de manejo que não revolve o solo, proporcionasse melhores condições físicas e hídricas em relação ao preparo convencional e cultivo mínimo.

No preparo convencional, as operações de preparo do solo influenciam na agregação e porosidade do solo, causando compactação na camada subsuperficial, fazendo com que todos esses aspectos caracterizem um menor volume de água disponível em relação aos demais sistemas de manejo empregados.

Nas parcelas com vegetação nativa, por se tratar de área em resiliência, não havendo cultivo e preparo do solo, proporcionou-se maior estruturação do solo, caracterizado por maior volume de água disponível em relação aos demais sistemas de manejo estudados. Ressalta-se, ainda, que o plantio direto foi o sistema com valores de água disponível mais próximos aos obtidos no solo da área coberta com vegetação nativa.

Resultados semelhantes foram encontrados por Marchão et al. (2007) e Silva et al. (2008) onde o conteúdo de água disponível foi maior no solo sob plantio direto em relação ao preparo convencional, o que pode estar relacionado ao incremento no volume de microporos, que possibilita maior retenção de água por capilaridade, reduzindo a percolação e evaporação.

Sousa Neto et al. (2008), em trabalho realizado com atributos físicos em diferentes sistemas de manejo, observaram que a água disponível variou de 0,10 a 0,12 m^3 m^{-3} e não diferiu entre os sistemas de manejo e profundidades.

Flores et al. (2008) observaram que a retenção de água foi maior nos sistemas não cultivados em todas as camadas e pressões, sendo que a maior

retenção de água está relacionada à maior microporosidade e ao teor de matéria orgânica, os quais aumentam a capilaridade e a adsorção na superfície das partículas.

5.CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos no presente trabalho, nas condições dos Tabuleiros Costeiros Sergipanos, pode-se concluir que:

- Os sistemas de manejo influenciaram nas propriedades físico-hídricas do solo;

- O preparo convencional foi o sistema de manejo que mais causou desestruturação do solo, com alterações nas suas propriedades físico-hídricas, com destaque para percentagem de agregados estáveis em água, diâmetro médio ponderado, capacidade de campo e água disponível;

- O plantio direto foi o sistema de manejo que proporcionou ao solo propriedades físico-hídricas que mais se assemelharam às obtidas no solo da área coberta com vegetação nativa, tendo sido obtidos maiores valores de percentagem de agregados estáveis em água, diâmetro médio ponderado, capacidade de campo, água disponível e menores valores de massa específica do solo e resistência mecânica à penetração nas camadas de 10 a 20 cm e de 20 a 30 cm. Entretanto, proporcionou maior adensamento na camada superficial, necessitando de escarificação periódica e rotação de culturas para melhor estruturação do solo nessa camada.

- O plantio direto pode ser considerado alternativa viável de agricultura de baixa intervenção no meio, por proporcionar melhor estrutura física e retenção de água no solo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, V. P; ALVES, M. C; SILVA, E. C; OLIVEIRA, S. A. Rotação de culturas e propriedades físicas e químicas em Latossolo Vermelho de Cerrado sob preparo convencional e semeadura direta em adoção. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32 n.3 Viçosa maio/jun. 2008. doi: 10.1590/S0100-06832008000300031.

ALVARENGA, R.C;REINERT,D.J;NOVOTNY,E.H. *Cultivo do Milho: Preparo Convencional do Solo*, Embrapa, CNPMS, Sete Lagoas, 2002.

ANDRADE, A.P; MAFRA, A. L; BALDO, G. R; PICCOLLA, C. D; BERTOL, I; ALBUQUERQUE, J. A. Atributos físicos e carbono orgânico de um cambissolo húmico dob sistemas de preparo e cultivo após doze anos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol.34 no.1 Viçosa jan./fev. 2010. doi: 10.1590/S0100-06832010000100022.

ARAÚJO FILHO, J. C. A; CARVALHO, A; SILVA, F. B. R. Investigadores preliminares sobre a pedogênese de horizontes coesos em solo dos Tabuleiros Costeiros do Nordeste do Brasil. *Anais-Workshop*. Embrapa Tabuleiros Costeiros. Aracaju, 2001.p 123-142.

ARAÚJO, Q. R. *Solo de Tabuleiros Costeiros e qualidade de vida das populações*. Editus. Ilhéus, 2001. 97p.

ARATANI, R. G; FREDDI, O. S; CENTURION, J. F; ANDRIOLI, I. Qualidade física de um latossolo vermelho acriférrico sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. vol.33, no.3 Viçosa, 2009. doi: 10.1590/S0100-06832009000300020.

ASSIS, R. L; LANÇAS, K. P. Agrecação de um nitossolo vermelho distroférrico sob sistemas de plantio direto, preparo convencional e mata nativa. *Revista Engenharia Agrícola*, vol.30 no.1 Jaboticabal jan./fev. 2010. doi: 10.1590/S0100-69162010000100006.

ASSIS, R. L; LAZARINI, G. D; LANÇAS, K. P; FILHO, A. C. Avaliação da resistência do solo à penetração em diferentes solos com a variação do teor de água. *Revista Engenharia. Agrícola*, vol.29 no.4. Jaboticabal, 2009. doi: 10.1590/S0100-69162009000400006.

BERNARDO, S; SOARES, A. A; MANTOVANI, E.C.*Manual de irrigação*. 8 ed. Editora UFV. Viçosa, 2009. 625p.

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. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28 n.1. Viçosa jan./fev. 2004. doi 10.1590/S0100-06832004000100015.

BEUTLER, A.N; CENTURION, J.F; SILVA, A.P; BARBOSA, J.C. Intervalo hídrico ótimo e produtividade de cultivares de soja. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,* Campina Grande, v.10, n.3, p.639-645, 2006.

BLAKE, G.R; HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A., ed. *Methods of soil analisys*. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p.363-375.

BLAKE, G.R. Bulk density. In:BLAKE, C.A.(Ed.). *Methods of soil analisys; physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling*. Madison: American Society of Agronomy, 1965.p.374-390.

BLAINSKI, E; TORMENA, C. A; FIDALSKI, J; GUIMARÃES, R. M. L. Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo à penetração. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32 n.3 Viçosa maio/jun. 2008. doi: 10.1590/S0100-06832008000300007.

BORGES, E.N, NOVAIS,R.F, BARROS, N.F, COSTA, L.M, NEVES,J.C.L. Respostas de Mudas de Eucalipto a Camadas Compactadas de Solo, *Revista Árvore*. Viçosa, 1999, p,181-195.

BRADY, N.C; WEIL,R.P, *The Nature and Properties of Soils*, Ed Pretice Hall, New Jersey, 2002, 1000p.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. *The nature and properties of soils*. 12.ed. New Jersey: Prentice Hall, 1999. 960p.

CALEGARI, A; MEDEIROS, G. B. Utilização de práticas biológicas na recuperação de camadas subsuperficiais adensadas/compensadas. *Anais-Workshop*. Embrapa Tabuleiros Costeiros. 2001.p243-259.

CANARACHE, A. PENETR - a generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. *Soil Tillage Research*,Amsterdam, v.16, n.1, p.51-70, 1990.

CARNEIRO, M. A. C; SOUZA, E. D; REIS, E. F; PEREIRA, H. S; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol.33 no.1 Viçosa jan./fev. 2009. doi: 10.1590/S0100-06832009000100016.

CINTRA, L. F. D; ANJOS, J. L; MELLO, W. M. P. I. Coesão em solos dos Tabuleiros Costeiros. *Anais-Workshop.* Embrapa Tabuleiros Costeiros: Aracaju, 2001. 339p.

CORRÊA, J.C; BULL, L.T; CRUSCIOL, C.A.C; MORAES, M.H. Alteração de atributos físicos em Latossolo com aplicação superficial de escória de aciaria, lama cal, lodos de esgoto e calcário. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, p.263-272, 2009.

CRUZ, J. C, ALVARENGA, R. C, NOVOTNY, E. H, PERREIRA, F.S, PERREIRA,F.T.F, HERNANI,L.C. *Cultivo do Milho: Sistema de Plantio Direto*. Embrapa-CNPMS, Sete Lagoas, 2002.

CUNHA, E. Q; STONE, L. F; MOREIRA, J. A. A; FERREIRA, E. P. B; DIDONET, A. D; LEANDRO, W. M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. I - atributos físicos do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol.35 no.2 Viçosa mar./abr. 2011. doi: 10.1590/S0100-06832011000200028.

CURE, N; LARACH, J.O.I;KAMPF, N, MONIZ,A, C; FONTES, M. E. F. *Vocabulário da Ciência do Solo*, SBCS, Campinas, 1993,90p.

DENEF, K; SIX, J; BOSSUYT, H; FREY, S.D; ELLIOTT, E.T; MERCKX, R; PAUSTIAN, K. *Influence of dry-wetcycles on the interrelationship between aggregate, particulate organic matter, and microbial community dynamics*. Soil Biology Biochemistry, Oxford, v. 33, p.1599-1611. 2001.

DOMINGOS, M. M. M; GASPARETTO, N. V. L; NAKASHIMA, P; RALISCH, R; FILHO, J. T. Estrutura de um nitossolo vermelho latossólico eutroférrico sob sistema plantio direto, preparo convencional e floresta. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol.33 no.6 Viçosa nov./dez. 2009. doi: 10.1590/S0100-06832009000600001.

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 asustainable environment*. SSSAJ, Madison, (Publication Number 35), 1994. p.3-22.

DUFRANC.O,G; DECHEN,S.C.F; FREITAS,S.S. Atributos Físicos, Químicos e Biológicos Relacionados com a Estabilidade de Agregados de dois Latossolos em Plantio Direto no Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, maio/junho. Vol.28.n 3, 2004.

EMBRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Brasília, Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. *Manual de métodos de análises de solo*. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMBRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Brasília, Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999.

FIDALSKI, J; BARBOSA, G. M. C; AULER, P. A. M; PAVAN, M.A; BERALDO, J. M.G. Qualidade física do solo sob sistemas de preparo e cobertura morta em pomar de laranja. *Revista Pesquisa agropecuária brasileira*, vol.44 no.1 Brasília jan. 2009. doi: 10.1590/S0100-204X2009000100011.

FLORES, C. A; REINERT, D. J; REICHERT, J. M; ALBUQUERQUE, J. A; PAULETTO, E. A. Recuperação da qualidade estrutural, pelo sistema plantio direto, de um Argissolo Vermelho. *Revista Ciência Rural*, v.38 n.8 Santa Maria nov. 2008. doi.org/10.1590/S0103-84782008000800012.

GENRO JUNIOR, S.A; REINERT, D.J; REICHERT, J.M; ALBUQUERQUE, J. A. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho e produtividade de culturas cultivadas em sucessão e rotação. *Revista Ciência Rural*, v.39, p.65-73, 2009.

HILLEL, D. Environmental soil physics. San Diego, Academy Press, 1998, 769p.

ISLAM, K.R. & WEIL, R.R. Soil quality indicator properties in *mid-atlantic soils as influenced by conservation management*. J. Soil Water Conser., 55:69-78, 2000.

JACOMINE, P.K.J. Evolução do conhecimento sobre solos coesos no Brasil In: Workshop: Coesão em Solos dos Tabuleiros Costeiros. *Anais*. EMBRAPA/Tabuleiros Costeiros – Aracaju-SE. 2001: pág. 19 a 46.

JURY, W. A; GARDNER, W. R. & GARDNER, W. H. *Soil physics*. 5.ed. New York, J. Wiley, 1991. 328p.

KARLEN,D.L, STOTT,D.E. A Fremework for Avaluating Physical and Chemical Indicators of Soil Quality. In DORAN,J.W, COLEMAN,D.C, BEZDIZEK, D.F, STUEWART,B.A, *Defining Soil Quality for Sustainable Environment*. Madison, Soil Science Society of American Society of Agronomy,1994,p53-71.

KIEHL, E.J. *Manual de edafologia*: Relação solo-planta. São Paulo, Ceres, 1979. 262p.

KEMPER, W.D; CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK C.A. et al. (Eds.). *Methods of soil analisys: physical and mineralogical methods*. Madison: American Society of Agronomy, 1965.p.499-510.

KERTZMAN,F.F. *Modificações na Estrutura e no Comportemento de um Latossolo Vermelho Eutrófico Provocados pela Compactação*. Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 1996.

KLEIN, V. A. *Física do solo*. Editora Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo-RS, 2008. 212p.

KLEIN, V. A; VIEIRA, M. L; DURIGON, F. F; MASSING, J. P; FÁVERO, F. Porosidade de aeração de um Latossolo Vermelho e rendimento de trigo em plantio direto escarificado. *Revista Ciência Rural*, v.38 n.2. Santa Maria, 2008. doi: 10.1590/S0103-84782008000200011.

KLEIN, V. A; BASEGGIO, M; MADALOSSO, T. Indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico típico sob plantio direto escarificado. *Revista Ciência Rural*, vol.39. Santa Maria, 2009. doi: 10.1590/S0103-84782009005000225.

KLEIN, V.A, LIBARDI, P.L, SILVA,A.P, Resistência Mecânica do Solo à Penetração sob Diferentes Condições de Densidade e Teor de Água. *Revista Engenharia Agrícola*,v18, nº 2, Jaboticabal, 1998, p45-54.

KOOREVAAR, P; MENELIK, G; DIRKSEN, C. *Elements of soil physics*. Fourth impression. Amsterdam, the Noetherlands, 1994. 230p.

LANZANOVA, M. E; ELTZ, F. L. F; NICOLOSO, R. S; AMADO, T. J. C; REINERT, D. J; ROCHA, M. R. Atributos físicos de um argissolo em sistemas de culturas de longa duração sob semeadura direta. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol.34 no.4 Viçosa jul./ago. 2010. doi: 10.1590/S0100-06832010000400030.

LAVKULICH, L.M, *Soil: The Environmental Integrator*. In: POWTER, C.B; ABBOUD, S.A;Mc GILL, W.B, *Environmental Soil Science: Anthropogenic Chemicals and Soil Quality Criteria*, Brandon, Canadian Society of Soil Science, 1995,p1-43.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop productions. *Advances in soil science*, v.1, p 277-294, 1985.

MACHADO, J. L; TORMENA, C. A; FIDALSKI, J; SCAPIM, C. A. Inter-relações entre as propriedades físicas e os coeficientes da curva de retenção de água de um latossolo sob diferentes sistemas de uso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32 n.2. Viçosa, 2008. doi: 10.1590/S0100-06832008000200004.

MANTOVANI, E. C; SALASSIER, B; PALARETTI, L. F. *Irrigação: princípios e métodos*. Editora UFV.3 ed. VIÇOSA, 2009. 355p.

MANTOVANI, E.C, Técnicas da Avaliação da Compactação dos Solos, In *Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água*, XVI, Santa Maria, 2004.

MARCHÃO, R.L.; BALBINO, L.C.; SILVA, E.M.; SANTOS JUNIOR, J.D.G.; SÁ, M.A.C.; VILELA, L. & BECQUER, T. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. *Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v42,p873-882, 2007.

MARTORANO, L. G; BERGAMASCHI, H; DALMAGO, G. A.; FARIA, R. T; MIELNICZUK, J; COMIRAN, F. Indicadores da condição hídrica do solo com soja em plantio direto e preparo convencional. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. vol.13 no.4 Campina Grande, 2009. doi: 10.1590/S1415-43662009000400005.

MATOS, A.T. Qualidade do meio físico ambiental.*Caderno didático*, nº 33. Viçosa,2009.175p.

MELLONI, R; MELLONI, E. G. P; ALVARENGA, M. I. N. Indicadores da qualidade do solo. *Informe agropecuário*, v29, n 244,maio/junho. Belo Horizonte. 2008.p17-29.

MENDES, R.C.A. Restrições físicas ao crescimento radicular num Latossolo muito argiloso. *Dissertação de Mestrado*. Brasília, 1989. 81p

MENTGES, M. I; REICHERT, J. M; ROSA,D. P; VIEIRA, D. A; ROSA, V. T; REINERT, D. J. Propriedades físico-hídricas do solo e demanda energética de haste escarificadora em Argissolo compactado. *Revista Pesquisa agropecuária brasileira*. vol.45 no.3 Brasília mar. 2010. doi: 10.1590/S0100-204X2010000300012.

MEROTTO, A; MUNDSTOCK, C. M. Wheat root growth as affected by soil strength. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa - MG, v.23, p.197-202, 1999.

OLIVEIRA, G. C; SEVERIANO, E. C; MELLO, C. R. Dinâmica da resistência à penetração de um Latossolo Vermelho da Microrregião de Goiânia, GO. *Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental*. vol.11 nº 3, Campina Grande, Junho/ 2007. doi.org/10.1590/S1415-43662007000300004.

PACHECO, E.P. Estudo da compressibilidade e qualidade de um Argissolo Amarelo cultivado com cana-de-açúcar nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. *Tese de Doutorado*. Recife, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2010. 106p.

PEDROTTI, A; MELLO JÚNIOR, A.V. *Avanços em Ciência do solo*. Editora da UFS, FAPITEC-SE e SBCS. São Cristóvão, 2009. 212p.

PEDROTTI, A. Avaliação da Compactação de um Planossolo Submetido a Diferentes Sistemas de Cultivo, UFPel/FAE. *Dissertação de Mestrado*. Pelotas, 1996, 92p.

PEIXOTO, M. S. F.P. *Atributos físicos, químicos e biológicos como indicadores da qualidade do solo*. CCA-034 : Biologia do solo. UFRB. Março de 2008.22p.

PEREIRA, F. S; ANDRIOLI, I; PEREIRA, F. S; OLIVEIRA, P. R; CENTURION, J. F; FALQUETO, R. J; MARTINS, A. L. S. Qualidade física de um Latossolo Vermelho submetido a sistemas de manejo avaliado pelo Índice S. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. vol.35 no.1 Viçosa jan./fev. 2011. doi: 10.1590/S0100-06832011000100008.

PRUSKI, F. F; SILVA, D. D; TEIXEIRA, A. F; CECILIO, R. A; SILVA, J. M. A; GRIEBELER, N. P. Hidrus: *Dimensionamento de sistemas hidroagrícolas*. Ed UFV. Viçosa, 2006.259p.

REICHARDT, K; TIMM, L. C. *Solo, planta e atmosfera (conceitos, processos e aplicações)*. Editora Manole Ltda. Barueri-SP, 2004. Reimpressão 2008. 478p.

REICHARDT, K. Capacidade de campo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. V 12, p 212-216. 1988.

REICHERT, J. M ; KAISER, D. R; REINERT, D. J; RIQUELME, U. F. B. Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de manejo. *Revista Pesquisa agropecuária brasileira*. vol. 44 nº 3 Brasília mar/ 2009. doi: 10.1590/S0100-204X2009000300013.

REICHERT, J. M; SUZUKI, L. E. A. S; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERRETA, C.A.; SILVA, L.S. da; REICHERT, J.M. (Ed.). *Tópicos em ciência do solo*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.5. Viçosa, 2007. p.49-134.

REICHERT, J. M; REINERT, D. J; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Revista Ciência e Ambiente*, v.27, p.29-48, 2003.

REINERT, D. J; ALBUQUERQUE, J. A; REICHERT, J. M.; AITA, C; ANDRADA, M. M. C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.1805-1816, 2008.

REINERT, D. J. & REICHERT, J. M. Coluna de areia para medir a retenção de água no solo - protótipos e teste. *Revista Ciência Rural*, 36:1931-1935, 2006.

REINERT D. J, & REICHERT, J. Propiedade Físicas de solos em Sistema Plantio Direto Irrigado. In : CARLESSO, R; PETRY, M. ; ROSA, G. & CERETTA, C. A. Irrigação por Aspersão no Rio Grande do Sul, Santa Maria, 2001. P. 114-131.

REINERT, D. J. *Recuperação de solos em sistemas agropastoris*. In: DIAS, L. E & MELLO, J. W. V, eds. Recuperação de áreas degradadas. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 1998. p.163-176.

RESENDE, S. C. Sistemas de Manejo e sucessão de culturas na Qualidade do Solo nos Tabuleiros Costeiros Sergipano. *Dissertação de Mestrado*. São Cristóvão, 2009.120p.

RICHARDS, L. A. *Physical conditions of water in soil*. In: BLACK, C. A. (Ed.). Methods of soil analysis. Madison: American Society for Testing and Materials, 1965. p. 128-152.

ROSELEM, C. A; FERNANDES, E. M; ANDREOTTI, M; CRUSCIOL, C. A. C. Crescimento Radicular de Plântulas de Milho Afetado pela Resistência do Solo à Penetração. *Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira*,v 34, nº5, 1999, p 821-828.

SCHAFFRATH, V. R; TORMENA, C. A; FIDALSKI, J; GONÇALVES, A. C. A. Variabilidade e correlação espacial de propriedades físicas de solo sob plantio direto e preparo convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32 n.4 Viçosa jul./ago. 2008. doi: 10.1590/S0100-06832008000400001.

SECCO, D; REINERT, D. J; REICHERT, J. M; SILVA, V. R. Atributos físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados. *Revista Ciência Rural*, v.39, p.58-64, 2009.

SILVA, G. J; JÚNIOR, D. D. V; BIANCHINI, A; AZEVEDO, E. C; MAIA, J. C. S. Variação de atributos físico-hídricos em Latossolo vermelho-amarelo do Cerrado mato-grossense sob diferentes formas de uso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32 n.5 Viçosa set./out. 2008. doi: 10.1590/S0100-06832008000500034.

SILVA, M.A.S; RANGEL,O. J. P; DYNIA, J.F; BETTIOL, W; MANZATTO, C.V. Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob

sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v 30, n 2. Viçosa, 2006. p.327-337.

SILVA, A. P; GIAROLA, N. F. B. Estabelecimento de índice de resistência dos solos para quantificação do grau de coesão. *Anais-Workshop*. Embrapa Tabuleiros Costeiros. Aracaju. 2001.p145-157.

SOUSA NETO, E. L; ANDRIOLI, I; BEUTLER, A. N; CENTURION, J. F. Atributos físicos do solo e produtividade de milho em resposta a culturas de pré-safra. *Revista Pesquisa agropecuária brasileira*. v.43 n.2 Brasília fev. 2008. doi: 10.1590/S0100-204X2008000200015.

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. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e ambiental*, 7:18-23, 2003.

STONE, L. R; SCHLEGEL, A. J. *Tillage and crop rotation phase effects on soil physical properties in the West-Central Great Plains*. Agronomy Journal, v.102, p.483-491, 2010.

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

TAYLOR, H. M. Effect of soil strength on seedling emergence, root growth and crop yield. In: BARNES, K.K., org. *compaction of agricultural soils*. Madison, American Society of Agricultural Engineers, 1971. p. 292-305, 1971. (ASAE Monograph).

TORMENA, C. A; ARAÚJO, M. A; FIDALSKI,J; IMHOFF, S; SILVA, A. P. Quantificação da resistência tênsil e da friabilidade de um latossolo vermelho distroférrico sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32 n.3 Viçosa maio/jun. 2008. doi: 10.1590/S0100-06832008000300004.

TORRES, J. L. R; FABIAN, A. J; PEREIRA, M. G. Alterações dos atributos físicos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. *Ciência e agrotecnologia*. vol.35 no.3 Lavras maio/jun. 2011. doi.org/10.1590/S1413-70542011000300001.

TORRES, E; SARAIVA, O.F. Camadas de impedimento do solo em sistemas agrícolas com a soja. Londrina: Embrapa Soja, 1999. 58 p. (*Circular Técnica*, 23).

VEIHMEYER, V. J; HENDRICKSON, A. H. Methods of measuring Field capacity and wilting percentage of soils. *Soil science*, v 68, p75-94, 1949.

VIANA, E. T; BATISTA, M. A; TORMENA, C. A; COSTA, A. C. S; INOUE, T. T. Atributos físicos e carbono orgânico em latossolo vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo.* vol.35 no.6 Viçosa nov./dez. 2011. Doi 10.1590/S0100-06832011000600025.

VIEIRA, M.J. *Propriedades Físicas do Solo*. In: IAPAR. Plantio Direto no Estado do Paraná, Londrina, 1981.

WHITE, R. E. Princípios e práticas da ciência do solo: o solo como um recurso natural. 4 ed. Tradução SILVA, I. F; NETO, D. D. São Paulo, 2009. 426p.

UFV – Universidade Federal de Viçosa. SAEG – *Sistema para análises estatísticas*. Versão 9.1. UFV, Viçosa, Brasil,2007.

YODER, R.E. A *Direct Method of Aggregat Analysis of Soil and a Study of the Physical Nature of Erosion Losses*. Journal of America Society of Agronomy, 28: 337-357. 1936.

ANEXOS

Quadro 11. Dados de resistência mecânica à penetração, em MPa, na condição de saturação do solo, para os quatro sistemas de manejo adotados e três profundidades

Prof. (cm)	RMP (MPa)			
	PD	**CM**	**PC**	**VN**
0 a 10	0,21	1,08	0,09	0,92
0 a 10	0,78	0,68	0,38	0,55
0 a 10	0,56	0,55	0,45	0,08
0 a 10	2,15	0,78	0,52	0,31
10 a 20	0,48	1,16	0,18	1,01
10 a 20	0,62	0,73	0,94	0,71
10 a 20	0,41	1,47	0,88	0,74
10 a 20	0,52	1,10	0,88	0,68
20 a 30	0,59	1,20	1,46	0,85
20 a 30	0,68	0,77	0,31	1,27
20 a 30	0,67	2,11	1,95	0,75
20 a 30	0,68	2,15	1,46	1,35

Quadro 12. Dados de resistência mecânica à penetração, em MPa, na condição de capacidade de campo, para os quatro sistemas de manejo adotados e três profundidades

Prof. (cm)	RMP (MPa)			
	PD	**CM**	**PC**	**VN**
0 a 10	0,87	1,55	0,66	1,24
0 a 10	0,80	1,17	1,67	0,44
0 a 10	0,89	0,70	1,09	0,93
0 a 10	1,89	0,91	0,69	0,87
10 a 20	3,23	1,23	1,00	0,99
10 a 20	0,23	1,95	2,20	0,22
10 a 20	0,23	1,17	1,19	0,84
10 a 20	1,01	1,25	0,41	2,06
20 a 30	0,57	2,01	1,67	1,34
20 a 30	2,09	2,07	1,80	1,34
20 a 30	0,70	2,70	2,23	0,89
20 a 30	1,48	1,65	1,02	3,18

Quadro 13. Resistência mecânica à penetração, em MPa, na condição de ponto de murcha permanente, para os quatro sistemas de manejo adotados e três profundidades

Prof. (cm)	RMP (MPa)			
	PD	**CM**	**PC**	**VN**
0 a 10	2,79	2,16	0,87	0,89
0 a 10	1,05	1,38	1,65	0,80
0 a 10	2,79	2,16	2,40	1,58
0 a 10	2,79	2,16	1,95	1,67
10 a 20	2,53	1,58	1,10	0,80
10 a 20	1,75	2,33	2,41	0,55
10 a 20	1,75	2,36	2,66	1,58
10 a 20	1,79	2,36	2,26	2,11
20 a 30	2,55	2,33	2,23	1,42
20 a 30	6,23	6,23	3,01	1,42
20 a 30	2,55	3,11	3,01	2,20
20 a 30	2,19	2,75	2,42	2,50