

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO**  
**FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**  
**Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical**

**RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO A  
PENETRAÇÃO UTILIZANDO DOIS PENETRÔMETROS EM  
UM LATOSSOLO VERMELHO DE MATO GROSSO**

**DELMONTE ROBOREDO**

CUIABÁ – MT  
2005

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO**  
**FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**  
**Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical**

**RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO A  
PENETRAÇÃO UTILIZANDO DOIS PENETRÔMETROS EM  
UM LATOSSOLO VERMELHO DE MATO GROSSO**

**DELMONTE ROBOREDO**  
Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. JOÃO CARLOS DE SOUZA MAIA  
Co-orientador: Prof. Dr. OSVALDO JOSÉ DE OLIVEIRA

Dissertação apresentada à Faculdade de Agronomia e  
Medicina Veterinária da Universidade Federal de Mato  
Grosso, para obtenção do título de Mestre em  
Agricultura Tropical.

CUIABÁ – MT

2005

#### FICHA CATALOGRÁFICA

R666r Roboredo, Delmonte

Resistência mecânica do solo a penetração utilizando dois penetrômetros em um Latossolo Vermelho de Mato Grosso / Delmonte Roboredo. – 2005.

79p. : il. ; color

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2005.

CDU – 631.43(817.2)

#### Índice para Catálogo Sistemático

1. Solo – Propriedades físicas e mecânicas – Mato Grosso
2. LATOSSOLO VERMELHO – Mato Grosso
3. Penetrometria – Solo – Agronomia
4. LATOSSOLO VERMELHO – Resistência – Mato Grosso
5. Solo – Densidade – Agronomia
6. Solo – Resistência mecânica – Agronomia
7. Solo – Umidade – Agronomia
8. Solo – Porosidade – Agronomia

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO**  
**FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**  
**Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical**

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**Título:** RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO À PENETRAÇÃO  
UTILIZANDO DOIS PENETRÔMETROS EM UM LATOSSOLO  
VERMELHO DE MATO GROSSO

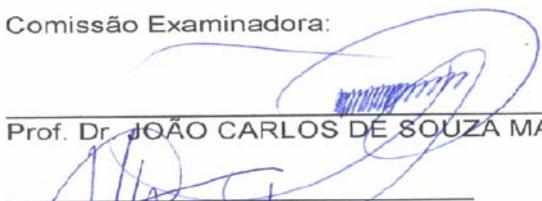
**Autor:** DELMONTE ROBOREDO

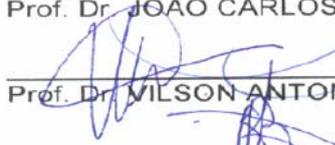
**Orientador:** Prof. Dr. JOÃO CARLOS DE SOUZA MAIA

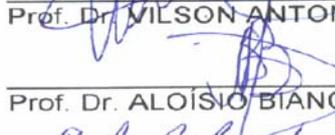
**Co-orientador:** Prof. Dr. OSVALDO JOSÉ DE OLIVEIRA

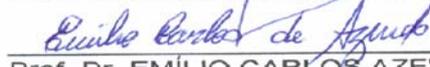
Aprovado em 19 de Dezembro de 2005.

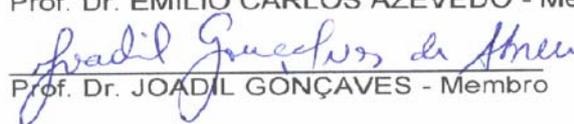
Comissão Examinadora:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. JOÃO CARLOS DE SOUZA MAIA - Orientador

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. WILSON ANTONIO KLEIN - Membro

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. ALOÍSIO BIANCHINI - Membro

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. EMÍLIO CARLOS AZEVEDO - Membro

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. JOADIL GONÇAVES - Membro

A **DEUS** POR TODAS AS GRAÇAS RECEBIDAS.

AO MEU QUERIDO PAI ALCIDES E MINHA ADORÁVEL MÃE ELÇA  
EMBORA DISTANTE SEMPRE PRESENTE EM MEU CORAÇÃO.

A MINHA ESPOSA ROSELI POR SER A RESPONSÁVEL DE MINHA  
ENTRADA NOS MISTÉRIOS DO SABER, PELO APOIO INCONDICIONAL,  
COMPREENSÃO, COMPANHEIRISMO E PELAS ORAÇÕES.

A MINHA FILHA CAROLINA E MEU GENRO ROBSON PELO APOIO,  
RECEPTIVIDADE E CARINHO.

AS MINHAS FILHAS CIBELE E CÁTIA, PELA COMPREENSÃO DEVIDA  
MINHA AUSÊNCIA DEDICADA AOS ESTUDOS.

A FAMÍLIA HORVATICH (GERALDO, JUREMA, CAROLINA E  
FREDERICO) PELA ACOLHIDA, COMPREENSÃO E CARINHO.

AOS AMIGOS PELA COMPREENSÃO, APOIO E ENSINAMENTO.

DEDICO

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a DEUS por tudo que tenho recebido, pelas excelentes viagens no trecho de Alta Floresta/Cuiabá/Alta Floresta para assistir as aulas, pela saúde, pela força nos momentos de fraqueza e de desânimo.

A toda minha família, em especial a minha Esposa, sem a qual não conseguiria galgar mais esse degrau em minha vida.

A Universidade Estadual de Mato Grosso (UNEMAT) em especial a Coordenação e aos Chefes dos Departamentos de Engenharia Florestal e Agronomia do Campus de Alta Floresta pela compreensão e apoio, extensivo a todos os amigos professores e a comunidade universitária.

Ao Professor Dr. JOÃO CARLOS DE SOUZA MAIA, grande amigo, por ter-me orientado, sempre paciente e disposto, auxiliando-me na realização desse trabalho.

A equipe do CEFET de São Vicente na pessoa do Sr. Diretor Prof. Dr. Ademir José Conte, Prof. Vilson Dantas dos Santos pelo apoio e em especial ao Prof. Dr. OSVALDO JOSÉ DE OLIVEIRA pela amizade, estímulo e orientação.

Ao Prof. M.Sc. Osmar de Assis Alves, Prof. Dr. Márcio do Nascimento Ferreira e Prof. Dra. Maria de Fátima Loureiro pelo incentivo e apoio a minha iniciação na pesquisa científica. A Prof. Dra. Oscarlina Santos Weber e sua equipe do Laboratório de Solos da FAMEV/UFMT pelo indispensável apoio.

Aos Professores: Dr. Aloísio Bianchini, Dr. Emílio Carlos de Azevedo, Dr. Joadil Gonçalves de Abreu da UFMT e Dr. Ednaldo Carvalho Guimarães da UFU (Universidade Federal de Uberlândia) pelo apoio incomensurável.

A Coordenação do programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical na pessoa da Prof.Dra. Maria Cristina de Figueiredo e Albuquerque, bem como a sua EFICAZ equipe de trabalho, Denise Aparecida A. Alves e Maria Minervina de Souza, pela atenção, carinho e cordialidade.

Ao amigo José Tito dos Santos pela formatação desta dissertação, ao amigo César Augusto da Cunha pela disposição na coleta dos dados em São Vicente e a todos (as) colegas do curso de Pós-Graduação em Agricultura Tropical pelo carinho e colaboração.

## **RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO A PENETRAÇÃO UTILIZANDO DOIS PENETRÔMETROS EM UM LATOSSOLO VERMELHO DE MATO GROSSO**

**RESUMO** - O estudo foi realizado na estação experimental do Centro Federal de Educação Tecnológica de Cuiabá (CEFET), localizada no km 329 da BR 364, Vila de São Vicente da Serra, município de Santo Antonio do Leverger-MT. O objetivo foi avaliar a resistência mecânica do solo a penetração em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico em função de diferentes teores de água em duas profundidades, utilizando dois penetrômetros: um de velocidade constante e um de impacto, correlacionando-os com a densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com oito tratamentos e cinco repetições dispostos em esquema de parcelas subdivididas, sendo: quatro faixas de umidade nas parcelas: faixa 1 (0,2703 a 0,3177 m<sup>3</sup>.m<sup>-3</sup>); faixa 2 (0,2545 a 0,2702 m<sup>3</sup>.m<sup>-3</sup>); faixa 3 (0,2355 a 0,2544 m<sup>3</sup>.m<sup>-3</sup>) e faixa 4 (0,1883 a 0,2354 m<sup>3</sup>.m<sup>-3</sup>); e duas profundidades de amostragem nas subparcelas (0,05 a 0,10 m e 0,15 a 0,20 m). A partir dos resultados obtidos constatou-se que: 1) ocorreu forte correlação positiva ( $r = 0,89$ ) e altamente significativa entre o penetrômetro de impacto e a densidade do solo; 2) a análise de regressão gerou a equação da reta  $\hat{Y} = 1,24587 + 0,0301426x$  e  $R^2 = 0,80$ ; 3) o penetrômetro de impacto apresentou maior relação com os atributos analisados; 4) as faixas de umidade influenciaram a resistência mecânica do solo a penetração tanto para o penetrômetro de impacto, como para o penetrômetro eletrônico automático manual; 5) na camada de 0,15 a 0,20 m foi encontrada a maior densidade gerando elevação da resistência mecânica do solo a penetração.

**Palavras-chave:** Penetrometria, densidade, umidade, porosidade.

**ABSTRACT - SOIL MECHANICAL RESISTANCE TO PENETRATION  
USING TWO PENETROMETERS IN A RHODIC HAPLUSTOX IN MATO  
GROSSO**

**ABSTRACT** - The study was conducted at the experiment station of Centro Federal de Educação Tecnológica de Cuiabá (CEFET), located at the km 329 marker on Road BR 364, Vila de São Vicente da Serra, municipality of Santo Antonio do Leverger-MT, Brazil. The objective was to evaluate soil mechanical resistance to penetration in a RHODIC HAPLUSTOX as a function of different water contents at two depths, using two penetrometers: a constant-speed penetrometer and an impact penetrometer, correlating these with bulk density, macroporosity, microporosity, and total porosity. A randomized-block experimental design was used, with eight treatments and five replicates arranged in a split-plot scheme, as follows: four moisture ranges as plots: range 1 (0.2703 to 0.3177 m<sup>3</sup>.m<sup>-3</sup>); range 2 (0.2545 to 0.2702 m<sup>3</sup>.m<sup>-3</sup>); range 3 (0.2355 to 0.2544 m<sup>3</sup>.m<sup>-3</sup>), and range 4 (0.1883 to 0.2354 m<sup>3</sup>.m<sup>-3</sup>); and two sampling depths as subplots (0.05 to 0.10 m and 0.15 to 0.20 m). From the results obtained, it was verified that: 1) a strong, positive, and highly significant correlation ( $r = 0.89$ ) occurred between the impact penetrometer and bulk density; 2) the regression analysis generated the equation  $D\hat{Y} = 1.24587 + 0.0301426x$  with  $R^2 = 0.80$ ; 3) the impact penetrometer showed stronger relations with the attributes analyzed; 4) moisture range influenced soil mechanical resistance to penetration both for the impact penetrometer and for the manual automatic electronic penetrometer; 5) the highest density was found at the layer from 0.15 to 0.20 m, resulting in increased soil mechanical resistance to penetration.

**Keywords:** Penetrometry, density, moisture, porosity.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
1 INTRODUÇÃO.....	9
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	12
2.1 Solo .....	12
2.2 Compactação do Solo .....	14
2.3 Resistência Mecânica do Solo a Penetração .....	17
2.4 Densidade do Solo .....	20
2.5 Porosidade do Solo .....	22
2.6 Estabilidade de Agregados.....	24
2.7 Umidade do Solo.....	26
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	29
3.1 Caracterização da Área de Estudo.....	29
3.1.1 Localização, Clima, Vegetação e Solo.....	29
3.1.2 Histórico da Área Experimental .....	31
3.1.3 Estabilidade de Agregados .....	32
3.1.4 Curva de Compactação .....	32
3.2 Preparo e Demarcação da Área Experimental .....	32
3.3 Equipamentos Utilizados .....	32
3.3.1 Equipamentos Utilizados no Campo .....	32
3.3.2 Equipamentos Utilizados no Laboratório .....	33
3.4 Área Experimental .....	33
3.5 Delineamento Experimental .....	33
3.6 Saturação da Área .....	35
3.7 Monitoramento da Água do Solo .....	35
3.7.1 Tensiometria .....	35
3.7.2 Umidade Gravimétrica e Volumétrica .....	37
3.8 Esquema de Amostragem.....	38
3.8.1 Resistência Mecânica do Solo a Penetração.....	38
3.8.2 Densidade do Solo .....	39
3.9 Teores de Água do Solo.....	39
3.10 Atributos do Solo Avaliados.....	40

3.10.1 Resistência Mecânica do Solo a Penetração .....	40
3.10.1.1 Penetrômetro de Impacto .....	40
3.10.1.2 Penetrômetro Eletrônico Automático Manual.....	42
3.10.2 Densidade.....	42
3.10.3 Porosidade do Solo.....	43
3.10.3.1 Macroporosidade .....	43
3.10.3.2 Microporosidade .....	43
3.10.3.3 Porosidade Total.....	43
3.11 Análise Estatística .....	43
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	45
4.1 Estabilidade de Agregados.....	45
4.2 Curva de Compactação.....	46
4.3 Análise de Variância.....	47
4.4 Resistência Mecânica do Solo a Penetração Avaliada com Penetrômetro de Impacto.....	49
4.5 Resistência Mecânica do Solo a Penetração Avaliada com Penetrômetro Eletrônico Automático Manual .....	53
4.6 Densidade do solo.....	55
4.7 Macroporosidade.....	57
4.8 Microporosidade .....	59
4.9 Porosidade Total .....	59
4.10 Curvas de Resistência Mecânica do Solo a Penetração.....	60
5 CONCLUSÕES.....	63
6 CONSIDERAÇÃO .....	64
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65

## 1 INTRODUÇÃO

A produção agropecuária tem sido objeto de importantes discussões devido sua interação com o meio ambiente. Fatores como disponibilidade de água, cobertura e compactação do solo dentre outros, vem causando grandes preocupações no setor de produção de grãos e fibras, principalmente no que concerne a utilização da motomecanização.

Importantes eventos foram realizados no Estado de Mato Grosso com a participação de diversos pesquisadores visando conscientizar os profissionais das ciências agrárias e os produtores da importância do manejo correto do solo. Okabe (2005) salientou a importância de reconhecer que a compactação do solo no “Sistema de Plantio Direto” é uma realidade devido o trânsito contínuo de máquinas.

As áreas mecanizadas para os mais diferentes tipos de culturas no Estado de Mato Grosso registram crescimento significativo. Exemplo disso pode ser visto na cultura da soja que saiu da ordem de 795,4 mil hectares em 1984/85, e em 2004 se encontrava com 5.126,7 mil hectares (FAMATO, 2004), tendo portanto um aumento de 644,5%. Esse considerável aumento requereu um significativo crescimento do número de máquinas e implementos além da potência e do peso dos mesmos. Isso tem causado problemas sérios de degradação dos solos agrícolas em função do seu manejo inadequado.

Estima-se que aproximadamente 68 milhões de hectares de terras exploradas com agricultura no planeta estão em processo de degradação provocado pela compactação do solo (Flowers e Lal, 1998).

A compactação do solo é um dos principais problemas da agricultura moderna. O uso excessivo das máquinas e implementos, cultivo e pastejo

intensivo, bem como a má utilização do solo têm induzido a sua compactação. A compactação do solo varia em uma larga escala de solos e climas, e é agravado pelo baixo nível de matéria orgânica, baixo nível tecnológico e também pelos tratos culturais em solo com elevada umidade (Hamza e Anderson, 2005).

A compactação do solo é uma das principais preocupações quanto ao manejo do solo nos Cerrados, não somente para a cultura da soja, como também para as demais culturas exploradas em área mecanizada, tais como: arroz, milho e algodão herbáceo. Nessas culturas são realizadas excessivas operações agrícolas, havendo trânsito constante das máquinas e implementos na área, afetando os agregados e elevando o nível de resistência mecânica do solo a penetração das raízes.

Preocupação idêntica também ocorre com a pecuária em virtude do superpastejo de animais, causando a perda da cobertura vegetal, favorecendo a compactação do solo, diminuindo a macroporosidade do solo, aumentando a erosão em virtude de menores taxas de infiltração da água e a decomposição da matéria orgânica (Dias Filho, 2003).

O método mais aceito para avaliar a compactação do solo é por intermédio de sua densidade, medida em laboratório com os anéis volumétricos, o qual é muito trabalhoso principalmente quando se estuda as camadas da subsuperfície. No entanto, a compactação pode ser avaliada por meio da resistência mecânica do solo a penetração (RMSP) que representa um dos atributos físico do solo, a qual é realizada com equipamentos que medem o grau de resistência que o solo oferece a penetração de uma haste metálica com ponta cônica.

Vários são os trabalhos realizados sobre RMSP utilizando diversos equipamentos disponíveis no mercado, a qual varia de acordo com o teor de água no solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total e tem forte relação com a densidade do solo. No entanto, não há trabalhos identificando qual é o penetrômetro mais adequado para ser utilizado na avaliação da compactação do solo.

Dessa forma, partiu-se da hipótese de que existe diferença de valores de resistência mecânica do solo a penetração coletados com os dois penetrômetros nas mesmas condições de umidade, solo e clima.

O objetivo geral desse trabalho foi avaliar a resistência mecânica do solo a penetração em diferentes teores de água e em duas profundidades utilizando o penetrômetro de impacto e penetrômetro eletrônico automático manual, visando verificar qual deles apresenta melhor correlação com a densidade do solo em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Solo

O Cerrado do Brasil Central representa o segundo bioma em extensão, depois da Amazônia, rico em biodiversidade (Rezende, 1998) ocupando uma superfície de 2,037 milhões de km<sup>2</sup> representando, aproximadamente, 23% do território brasileiro (Lopes e Guilherme, 1994; Pivello, 2005), fazendo parte da paisagem do Distrito Federal, Bahia, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas gerais, Piauí, Pará, Rondônia e Tocantins (Silva, 2004). Da área total a maior parte é composta, aproximadamente, de 15,2% de NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS, 15,1% de ARGISSOLOS e 46% de LATOSSOLOS (Lopes e Guilherme, 1994). Desse percentual de Latossolos, aproximadamente 17% é formado por LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (Goedert, 1986). No entanto, segundo Macedo (1996) os Latossolos ocupam cerca de 50% da área do Cerrado brasileiro.

O Estado de Mato Grosso tem uma superfície territorial de 901.500 km<sup>2</sup>. Desse total, aproximadamente, 314.991 km<sup>2</sup> é composto por LATOSSOLOS VERMELHOS apresentando densidade do solo, em condições naturais, entre 0,86 a 1,34 kg.dm<sup>-3</sup> e porosidade total variando de 46 a 70% dependendo da textura do solo (MATO GROSSO, 1995).

O solo é uma coleção de corpos naturais que ocupam porções da superfície terrestre, suportam plantas e que tem propriedades decorrentes da ação integrada de clima e organismos, atuando sobre o material de origem, condicionado pelo relevo, num período de tempo (Soil Survey Staff, 1975).

O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2005) define o solo como uma coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos, que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais do nosso planeta, contendo matéria viva e podem ser vegetados na natureza, onde ocorrem. Ocasionalmente podem ter sido modificados por interferências antrópicas.

Os Latossolos são solos em avançado estágio de intemperismo, muito evoluídos, profundos, bem drenados, típicos de regiões equatoriais e tropicais, possuem boas condições físicas em condições naturais, aliado ao relevo plano ou suavemente ondulado, sendo recomendado para plantio de diversas culturas, baixa capacidade de troca de cátions, inferior a 17  $\text{cmol}_c/\text{kg}$  (EMBRAPA, 1997; EMBRAPA, 2005). Essa classe de solo mesmo com alto teor de argila (até  $800 \text{ g.kg}^{-1}$ ) possui grandes taxas de infiltração de água, porosidade e aeração, e pequena densidade do solo em seu estado natural, devido à sua agregação (Azevedo e Bonumá, 2004).

Essa ordem de solo sob diferentes usos difere quanto as suas características físico-químicas em relação ao Cerrado nativo, cujas alterações são mais evidentes na camada superficial do solo. A textura desse solo pode variar de 16 a 85% de argila, podendo ser encontrados os seguintes solos quanto à classe textural: i) franco-arenosos, ii) argilosos, iii) franco-argilo-arenosos, e iv) franco argilosos (Mendes, 1967).

Os Latossolos por sofrerem elevado grau de intemperismo apresentam baixa fertilidade natural. No entanto, apresentam elevada estabilidade de agregados em virtude da atuação dos óxidos de ferro e alumínio presentes na fração argila, baixa densidade do solo, alto volume de macroporos e elevada friabilidade, favorecendo seu manejo (Ferreira et al., 1999).

O relevo pouco ondulado aliado a outras características favoráveis dos solos de Cerrado possibilita o uso intensivo da motomecanização, podendo provocar modificações na estrutura física desses solos, dentre elas a compactação (Carvalho Junior et al., 1998).

## 2.2 Compactação do Solo

A estrutura original do solo pode sofrer modificação devido ao aumento ou diminuição da porosidade do solo. Essa modificação pode ocorrer devido aos processos pedogenéticos conhecida como adensamento (Moniz, 1981) em virtude da translocação das argilas da superfície do solo para as camadas subsuperficial, criando os horizontes B textural, como ocorre nos ARGISSOLOS (EMBRAPA, 2005). As modificações oriundas do manejo do solo geradas pela diminuição da macroporosidade devido principalmente ao uso de máquinas e implementos agrícolas são denominadas de compactação (Ehlers et al., 1983; Beutler et al., 2001).

A resposta do solo à compactação é um fenômeno de elevada complexidade. A compressibilidade depende primariamente das propriedades físico-mecânicas do solo (Etana et al., 1997) e, em menor grau, do nível e modo de aplicação da energia utilizada para exercer a compactação (Faure, 1981).

A compactação do solo é o ato ou ação de forçar a agregação das partículas do solo, que por sua vez irá: (i) reduzir o volume por elas ocupado; (ii) aumentar a densidade; (iii) diminuir o volume dos macroporos; (iv) diminuir a infiltração, e (v) aumentar a resistência mecânica do solo ao crescimento radicular (Seixas e Oliveira Junior, 2001).

A compactação além de ser um impedimento mecânico ao crescimento radicular, afeta também os processos de aeração, condutividade térmica, infiltração e redistribuição de água além dos processos químicos e biológicos (Camargo e Alleoni, 1997), afetando o desenvolvimento das raízes superficiais e das pivotantes, retardando o crescimento das culturas anuais, perenes e forrageiras.

A compactação do solo tem se constituído em um dos grandes obstáculos ao aumento da produtividade do setor agrissilvipastoril, como também tem provocado, principalmente, nas áreas mecanizadas declivosas, forte assoreamento dos recursos hídricos. Ela se tornou extremamente preocupante devido à intensificação da mecanização no Brasil, seja ela voltada à agricultura, a exploração de madeira (Seixas e Oliveira Junior,

2001), bem como o setor pecuário devido às altas pressões exercidas pelo pisoteio dos animais que tem contribuído acentuadamente para a compactação dos solos sob pastagens (Imhoff et al., 2000).

A compactação do solo, nas áreas agrícolas, vem ocorrendo devido à intensa movimentação de máquinas e equipamentos agrícolas para o plantio das culturas, bem como no seu manejo. Também se tem verificado o uso indiscriminado de tratores pesados com maior potência sem o devido dimensionamento e seleção dos implementos (Mantovani, 1987) reduzindo a produtividade e aumentando os níveis de erosão (Seixas e Oliveira Junior, 2001).

O solo está compactado quando a proporção do volume total de poros é inadequada ao máximo desenvolvimento de uma cultura ou manejo eficiente do campo (Mantovani, 1987).

O uso do conjunto de motomecanização afeta as propriedades físicas do solo influenciando diretamente no processo de movimentação do ar e da água no solo, provocando redução da macroporosidade, bem como da estabilidade dos agregados, em virtude do aumento da densidade do solo, dificultando o crescimento do sistema radicular das plantas (Maia, 1999).

O valor de macroporosidade de aeração mínimo de 10 % tem sido utilizado de forma generalizada como limitante ao crescimento de raízes devido à baixa difusão do oxigênio no solo (Silva et al., 2002), haja vista, que a compactação excessiva ou adicional pode aumentar a resistência mecânica à penetração radicular, redução da aeração, alteração do fluxo da água e calor e da disponibilidade de água e nutrientes (Camargo e Alleoni, 1997).

Os solos de textura mais grosseira apresentam maior resistência à compactação. Para tanto, deve-se levar em consideração os três mecanismos que ocorrem com os mesmos a campo, a saber: i) compactação superficial; ii) formação de camadas horizontais endurecidas (pans) devido ao tráfego e ou cultivo com máquinas e implementos, e iii) impermeabilização superficial (Camargo e Alleoni, 1997). A aplicação de forças externas em materiais arenosos pode rearranjar as partículas mais

finas, forçando-as a se assentarem nos vazios do solo, resultando no aumento de densidade superiores a  $2,0 \text{ kg.dm}^{-3}$  (Mantovani, 1987).

A compactação do solo, originada da pressão exercida pelos pneus das máquinas e por implementos agrícolas sobre o solo, principalmente em condições de excesso de água, é um dos principais problemas físicos que limitam a produtividade de soja e arroz de sequeiro (Beutler e Centurion, 2004).

O uso intensivo do conjunto máquinas/implementos, na maioria das vezes tem sido realizado de forma inadequada contribuindo para a compactação do solo, trazendo sérios prejuízos às espécies exploradas através da: (i) diminuição da macroporosidade, (ii) menor aeração do solo; (iii) menor infiltração água, (iv) maior resistência do solo para o crescimento radicular, (v) menor valor de IHO (intervalo hídrico ótimo); (vi) maior escoamento superficial, (vii) maior risco a erosão, (viii) menor crescimento e desenvolvimento das espécies, (ix) menor absorção de nutrientes (Martins et al., 2002).

As técnicas empregadas para evitar a compactação são várias, dentre elas Hamza e Anderson (2005) recomendam: i) reduzir a pressão sobre o solo diminuindo a carga do eixo e ou aumentando a área de contato de rodas sobre o solo; ii) reduzir o número das passagens pelo conjunto de motomecanização; iii) tráfego controlado para algumas áreas de cultivo; iv) aumentar o teor de matéria orgânica mantendo os resíduos da colheita e do pasto sobre o solo, e v) realizar as operações de plantio e tratos culturais com a umidade ideal.

Em trabalho realizado em área de Cerrado com LATOSSOLO VERMELHO textura média, Carvalho Junior (1998) detectou adensamento na profundidade de 0,10 a 0,30 m. Neste mesmo trabalho foi detectada a existência da camada compactada na profundidade de 0,075 a 0,20 m em solos manejados.

A compactação pode ser avaliada através de vários atributos do solo. Dentre todos, destaca-se a densidade do solo e, recentemente, alguns autores têm considerado a resistência do solo à penetração como um dos

parâmetros mais indicado (Lanças et al., 1999), como também mais sensível para avaliar a compactação do que a densidade do solo (Imhoff et al., 2000; Jorajuria e Draghi, 2000; Streck et al., 2004).

### **2.3 Resistência Mecânica do Solo a Penetração**

A resistência Mecânica do solo a penetração (RMSP) quantifica a resistência mecânica oferecida pelo solo ao crescimento radicular ou a introdução da ponteira de um penetrômetro (Silva et al, 2002).

A resistência do solo à penetração das raízes tem sido o atributo físico priorizado para os estudos em compactação do solo por influenciar diretamente seu crescimento e, conseqüentemente, a parte aérea das plantas (Imhoff et al., 2000). Tormena e Roloff (1996) enfocam que a resistência do solo a penetração é utilizada para avaliação dos efeitos dos sistemas de manejo do solo sobre o ambiente radicular.

A RMSP é altamente influenciada com o teor de água (Paschoalin Filho e Carvalho, 2002) e densidade do solo (Cunha et al., 2002; Genro Junior et al., 2004). A RMSP aumenta exponencialmente com a diminuição da umidade pelo fato de que com a sua diminuição há o aumento das forças de coesão das partículas do solo, devido à concentração dos agentes cimentantes (óxido de ferro, óxido de cálcio, matéria orgânica, exsudação dos microorganismos do solo, etc.), como também devido à redução do efeito lubrificante da água (Silva et al., 2002).

A RMSP é determinada pelo uso de diversos tipos e modelos de penetrômetros disponíveis no mercado. Dentre eles se destaca o penetrômetro de impacto modelo IAA-Planalsucar (Stolf, 1991) e o penetrômetro eletrônico automático manual ou tratorizado desenvolvido por Bianchini et al. (2002) de acordo com a norma S313-2 (ASAE, 1998) que penetram o solo para identificar a resistência oferecida pelo meio.

A penetrometria tem se mostrado eficiente sobre diversos aspectos para a avaliação da compactação do solo. Segundo Lanças et al. (1999) representa um sistema prático e flexível para ser aplicado em pesquisas de campo, como também em extensas áreas agrícolas em virtude da facilidade

da coleta, manipulação dos dados coletados a campo, propiciando facilidade para a criação de gráficos em planilhas eletrônica (Excel), otimizando o tempo do profissional.

Streck et al. (2004) em experimento realizado em um ARGISSOLO Vermelho Amarelo Distrófico de textura franco-arenosa na profundidade de até 0,28 m constatou que a RMSP foi o atributo físico que melhor evidenciou o efeito do número de passadas do rodado da máquina sobre o solo, diferenciando quando realizado com quatro vezes, duas vezes e sem tráfego. Nesse estudo verificou-se que houve o aumento da densidade e a resistência do solo a penetração, redução da macroporosidade e porosidade total, mas não foi afetado a microporosidade. Jorajuria e Draghi (2000) concluíram que a resistência a penetração é um parâmetro mais sensível para avaliar a reação do solo ao tráfego de máquinas e implementos do que a densidade do solo.

As classes de resistência do solo a penetração adaptadas do Soil Survey Staff (1993), citadas por Canarache (1990), Arshad et al. (1996), e Beutler et al. (2001) apresentaram os seguintes limites de classe de resistência do solo a penetração: i) muito baixo: <1,1 MPa – sem limitação; ii) baixa: 1,1 a 2,5 MPa - pouca limitação; iii) média: 2,6 a 5,0 MPa - alguma limitação; iv) alta: 5,1 a 10,0 MPa - sérias limitações; v) muito alta: 10,1 a 15,0 MPa - raízes praticamente não crescem, e vi) extremamente alta: >15,0 MPa - raízes não crescem.

Os valores críticos de resistência à penetração variam de 1,5 a 4,0 MPa, sendo que o valor de 2,0 MPa é aceito, de uma maneira geral, como impeditivo ao crescimento radicular (Imhoff et al., 2000).

Para espécies florestais têm sido considerados os valores de 2 a 3 MPa como restritivo para o crescimento radicular (Silva et al., 2002). Trabalho realizado por Fernandes e Lanças (1997) com um forwarder na trilha de exploração constatou o acréscimo de 1,08 MPa na profundidade de 0 a 0,15 m, passando de 1,72 para 2,80 MPa. Nesse caso houve necessidade para o próximo plantio de realizar o rompimento da camada

compactada, aumentando assim os custos de implantação (Martins, et al, 2002).

Em espécies agrícolas há também uma grande variação dos valores críticos da RMSP, a qual vai depender da espécie, classe de solo e teor de água no solo. Na cultura do arroz no estudo efetuado em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico e LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico, ocorreu redução da produtividade de grãos no maior teor de água ( $0,14 \text{ kg.kg}^{-1}$  e  $0,27 \text{ kg.kg}^{-1}$ ), a partir da RMSP de 2,38 e 2,07 MPa (Beutler e Centurion, 2003).

O sistema de cultivo mínimo e o plantio direto revelaram-se como sistemas de manejo com melhores resultados, em LATOSSOLO VERMELHO Álico, textura argilosa, mostrando maiores valores de infiltração e condutividade hidráulica do solo saturado e menor resistência do solo a penetração, quando comparado com a vegetação natural (Souza e Alves, 2003). Em trabalho realizado em Latossolo Roxo Distrófico (LATOSSOLO VERMELHO Distrófico), textura argilosa, Pereira et al. (2002b) também constataram que houve uma redução da resistência do solo a penetração em ambos os sistemas quando o teor de água foi de  $0,33 \text{ kg.kg}^{-1}$ .

O nível limitante de resistência do solo à penetração para soja foi de 1,66 e 2,22 MPa, no LATOSSOLO VERMELHO, textura média, e 3,05 e 2,81 MPa, no LATOSSOLO VERMELHO textura argilosa, para o conteúdo de água retida na tensão de 0,05 e 0,01 MPa, respectivamente. No conteúdo de água retida na tensão de 0,01 MPa foi obtida maior produção de grãos em relação a 0,05 MPa (Beutler et al., 2002).

Já as culturas de aveia e trigo apresentaram menores produtividades de matéria seca da parte aérea a partir de 3,03 MPa no conteúdo de água de  $0,28 \text{ kg.kg}^{-1}$  (Mielniczuk, 1985), em casa de vegetação. Entretanto, em estudos a campo em Latossolo Roxo (LATOSSOLO VERMELHO), a cultura do milho não teve restrição ao desenvolvimento radicular com o valor de 3,5 MPa da RMSP no sistema convencional e plantio direto, porém influenciou sua morfologia (Tavares Filho et al., 2001).

Nos sistemas de preparo convencional com arado de discos e cultivo em rotação com milho e feijão, os maiores valores de resistência à penetração ocorreram na profundidade de 15 a 30 cm do solo em trabalho realizado em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (Beutler et al., 2001).

A curva de resistência do solo representa um parâmetro útil na avaliação da qualidade física do solo, importante no estudo do efeito da compactação sobre as condições físicas do solo, permitindo identificar camadas do solo com resistência mecânica potencialmente limitante ao crescimento radicular, estabelecendo a umidade e densidade do solo crítica para o crescimento e desenvolvimento das plantas (Imhoff et al., 2000).

#### **2.4 Densidade do Solo**

A densidade do solo ( $D_s$ ) denominada também de densidade aparente ou densidade global é a relação entre a massa de sólidos seco e a soma dos volumes ocupados pela parte sólida e pelo ar do solo. De uma maneira geral, quanto maior for a densidade do solo maior será a sua compactação, pior será sua estrutura, menor será sua porosidade total e, conseqüentemente, maiores serão as dificuldades para o crescimento do sistema radicular das plantas (Kiehl, 1979; Ferreira, 1986).

Os critérios utilizados para classificar a densidade do solo, segundo Kiehl (1979), situam-se dentro dos seguintes limites: i) solos turfosos de 0,20 a 0,40  $\text{kg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ; ii) solos húmíferos de 0,75 a 1,00  $\text{kg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ; iii) solos argilosos de 1,00 a 1,25  $\text{kg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ; e iv) solos arenosos de 1,25 a 1,40  $\text{kg}\cdot\text{dm}^{-3}$ . Para Torres e Saraiva (1999) a amplitude da densidade do solo varia de acordo com as características mineralógicas sendo que para as condições de campo apresentam as seguintes faixas: i) solos argilosos vão desde 1,00  $\text{kg}\cdot\text{dm}^{-3}$  (sob condições naturais e quando são ricos em matéria orgânica) até 1,45  $\text{kg}\cdot\text{dm}^{-3}$  (solos mal manejados e compactados) e ii) solos arenosos de 1,25 a 1,70  $\text{kg}\cdot\text{dm}^{-3}$ .

A densidade do solo apresenta implicações diretas sobre a porosidade e infiltração de água no solo. Beutler et al. (2001) obtiveram valores de densidade do solo que variavam de 0,83 a 1,19  $\text{kg}\cdot\text{dm}^{-3}$  em

Cerrado nativo e plantio direto com cultivo contínuo com milho em experimento realizado em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, textura muito argilosa. Sendo que no Cerrado nativo ocorreu menor densidade, maior macroporosidade, maior volume total de poros resultando assim em menor resistência do solo a penetração do solo (0,84 a 2,09 MPa) e maior permeabilidade ( $95 \text{ mm.h}^{-1}$ ). Constatação idêntica foi encontrada em Latossolo Roxo Distrófico (LATOSSOLO VERMELHO Distrófico) cultivado convencionalmente por mais de quinze anos e em solo sob mata no planalto Rio Grandense por Cintra et al. (1983).

Em trabalho realizado em um Latossolo Bruno Alumínico Câmbico durante vinte e um anos sob mata utilizando o preparo convencional e plantio direto, Costa et al. (2003) ratificam os trabalhos realizados por Cintra et al. (1983) e Beutler et al. (2001) onde constataram a tendência do aumento da densidade do solo em todas as camadas de 0 a 0,20 m em ambas as formas de cultivo em relação à mata nativa. Os autores demonstraram que independente do sistema de manejo há alterações nas propriedades físicas do solo. Não houve diferença entre os sistemas de manejo nas camadas de 0 a 0,05 m e 0,05 a 0,10 m. No entanto, na camada de 0,10 a 0,20 m houve diferença do preparo convencional para o plantio direto possivelmente em virtude da transmissão da pressão exercida na superfície do solo pelas máquinas e implementos, pela compressão dos discos do arado, como também pelo pneu do trator rodando no sulco de aração. Sendo que no plantio direto nas camadas de 0,05 a 0,20 m houve redução da densidade do solo devido à melhoria das qualidades físicas do solo decorrentes, possivelmente, da formação dos bioporos pelos organismos do solo e decomposição das raízes.

Entretanto, em estudo efetuado, durante dezessete anos do efeito dos sistemas de preparo convencional, preparo reduzido e semeadura direta, em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico, textura média, em Eldorado do Sul - RS, na profundidade de 0 a 0,175 m, o solo em semeadura direta apresentou maiores valores de resistência do solo a penetração em profundidade em relação ao preparo convencional, devido seu estado de

compactação. No entanto, em nenhum dos sistemas de preparo não houve restrições ao desenvolvimento radicular em termos de densidade do solo, macroporosidade e resistência ao penetrômetro (Silva et al., 2005). Resultado semelhante foi encontrado por Watanabe et al. (2002).

Silva (2004) identificou em laboratório que as densidades ótimas para o crescimento das espécies estudadas foram  $1,13 \text{ kg.dm}^{-3}$  (algodoeiro e soja),  $1,12 \text{ kg.dm}^{-3}$  (milho) e  $1,17 \text{ kg.dm}^{-3}$  (*B. brizantha*).

Os sistemas de preparo do solo afetam a densidade e a resistência do solo a penetração. Após cinco anos em pousio, a densidade do solo é maior no sistema de preparo de solo com grade aradora, do que no sistema de preparo com enxada rotativa conforme constatação feita por Prado et al. (2002) em um LATOSSOLO VERMELHO Eutrófico.

## 2.5 Porosidade do Solo

O sistema poroso do solo é importante em estudos envolvendo: i) armazenamento e movimentação da água e gases; ii) desenvolvimento do sistema radicular; iii) fluxo e retenção de calor, e iv) resistência mecânica do solo. No entanto, não se deve apenas determinar a porosidade total devido ser informação de utilidade limitada, sendo indispensável o conhecimento da distribuição do tamanho dos poros (Ferreira, 1986).

A porosidade é um importante atributo do solo, desde que não seja analisada apenas e tão somente a porosidade total, pois, é imprescindível fazer uma separação entre a macroporosidade e microporosidade. Tendo em vista que os macroporos são os responsáveis pela aeração, movimentação da água e também para o crescimento do sistema radicular, os microporos têm a principal função de reter a água no solo para que sejam absorvidas pelas plantas. A microporosidade corresponde ao volume de microporos em relação ao volume do solo e a macroporosidade representa o volume dos macroporos em relação ao volume do solo (Kiehl, 1979).

O preparo convencional do solo efetuado com arado de aiveca propicia menores valores de resistência a penetração ao longo do perfil do solo (Stone e Silveira, 1999), e quando seguido de uma gradagem

niveladora mostrou-se mais eficiente do que o plantio direto e o preparo mínimo, tendo em vista o aumento da macroporosidade e a redução da densidade e RMSP. No entanto, solos nestas condições estão muito mais sujeitos à erosão e perdas de água em virtude do solo ficar desprotegido da radiação solar como também do impacto das chuvas (Tormena et al., 2002).

O aumento dos poros no preparo convencional do solo deve-se as freqüentes mobilizações do solo. Enquanto que no sistema de plantio direto ocorrerá o aumento dos poros em virtude da maior atividade microbiana e também dos canais formado pelas raízes das culturas anteriores (Torres e Saraiva, 1999).

Laurani et al. (2004) em estudo realizado em LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico em diferentes sistemas de plantio direto verificaram que a utilização de milho safrinha, coquetel de adubos verdes (aveia-preta, nabo pivotante e ervilhaca), aveia-preta e trigo na rotação de inverno, não influenciou na macroporosidade, na microporosidade, porosidade total, na retenção de água e na densidade do solo na profundidade de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m utilizando a tensão de 30 cm de coluna de água. Sendo que na tensão de 60 cm de coluna de água a aveia-preta, como rotação de inverno, promoveu maior macroporosidade em relação à rotação com milho e trigo na camada de 0 a 0,2 m, e com trigo na camada de 0,20 a 0,40 m.

Os problemas de compactação são mais sérios nos solos argilosos devido serem constituídos de partículas menores. Estas quando em tamanhos diferentes se reorganizam facilmente ocupando os espaços entre as partículas maiores, diminuindo drasticamente a macroporosidade do solo. Em experimentos realizados no Paraná em Latossolo Roxo (LATOSSOLO VEERMELHO) em solos compactados devido terem sido mal manejados, foi encontrado macroporosidade inferior a 5%. Entretanto, em solos arenosos por serem constituídos de partículas maiores e com menor superfície de contato, muitas vezes, apresentam densidade do solo maior do que nos solos argilosos. Mas, os solos arenosos tendem a manter maior macroporosidade podendo ser menos restritivos ao crescimento radicular (Torres e Saraiva, 1999).

## 2.6 Estabilidade de Agregados

Agregados são componentes da estrutura do solo de grande importância na manutenção da porosidade e aeração do solo para que haja crescimento e desenvolvimento das plantas, aumento da atividade microbológica do solo, melhor infiltração da água e diminuição dos processos erosivos do solo (Dexter, 1988).

Agregados são aglomerados de partículas primárias que variam da argila (diâmetro igual ou menor que 0,002 mm) até partículas maiores que areia (com diâmetros maiores que 2,0 mm). Sendo que os macroagregados contêm partículas com diâmetro maior que 0,25 mm e os microagregados com diâmetro menor que 0,25 mm. Cada tipo de agregado possui gênese própria, refletida em seu tamanho, forma, composição e estabilidade. Os Latossolos possuem agregados em forma de pequenos grânulos, bastantes estáveis e resistentes (Azevedo e Bonumá, 2004).

Em solos cultivados, os agregados são expostos à desagregação física, quer pelo umedecimento e impacto das gotas da chuva, quer pelo cisalhamento provocado pelos implementos agrícolas uma vez que os agregados de tamanho maior que 2,0 mm de diâmetro estáveis em água consistem em agregados e partículas mantidos juntos, principalmente pela rede de finas raízes e as hifas dos microorganismos (Tisdall e Oades, 1982).

O preparo convencional degrada o solo quando comparado com a estrutura do solo da mata nativa, devido o aumento da densidade e da resistência do solo à penetração em virtude da diminuição dos agregados. No entanto, o solo quando cultivado com plantio direto apresenta melhores condições estruturais por apresentar menor densidade na subsuperfície e pelo aumento da estabilidade dos agregados na camada superficial do solo (Costa et al., 2003; Oliveira et al., 2004a).

A intensificação do cultivo do solo tem propiciado condições para a erosão devido à dificuldade de infiltração da água, tendo em vista a diminuição na quantidade de agregados maiores de 2,0 mm (Bognola et al., 1998).

Corrêa (2002) realizou um experimento no município de Querência-MT, em LATOSSOLO VERMELHO Amarelo de textura média em nove áreas contíguas, sendo uma com cobertura vegetal de mata nativa de transição de Cerrado para mata Amazônica e as demais com cultivo anual. O autor constatou que: (i) o desmatamento e limpeza da área com uso de grade aradora e niveladora diminui o tamanho dos agregados maior que 2,00 mm na camada superficial; (ii) o uso de grade aradora e niveladora e a monocultura da soja causam maior fracionamento dos agregados; (iii) o plantio direto sobre palhada de milho proporciona maior porcentagem de agregados do que o preparo do solo com grades aradora e niveladora.

O revolvimento do solo representa o efeito imediato do seu preparo, provocado pelo órgão ativo do conjunto trator e implemento, provocando completas modificações no tamanho e distribuição dos torrões, aumento do volume e porosidade. Por esse motivo, o solo sofre, conseqüentemente, modificações térmicas, hídricas, químicas e biológicas (Ortolani, 1989).

Em estudo sobre os atributos físicos do solo em LATOSSOLO VERMELHO argiloso, sob um sistema agroflorestal e cultivo de milho utilizando o sistema convencional, Carvalho et al. (2004) verificaram que o solo sob sistema florestal apresenta maior estabilidade de agregados, menor densidade do solo, menor resistência a penetração e maior porosidade. Eles atribuem esses resultados em virtude da grande quantidade de restos vegetais em diferentes estágios de decomposição, aumentando a atividade microbiana do solo, contribuindo para a formação de agregados mais estáveis.

Assim, o estado de agregação do solo pode indicar mudanças ocorridas no solo em virtude do manejo utilizado, tanto com relação ao tamanho e estabilidade dos agregados, como também da concentração dos agregados em determinada classe de tamanho seja em Latossolos ou em solos menos intemperizados (Menossi, 2004).

## 2.7 Umidade do Solo

A umidade do solo é condição indispensável para a vida do solo sendo responsável para a ocorrência dos processos físicos, químicos e biológicos. No entanto, seu excesso afeta de maneira geral, o crescimento e desenvolvimento das plantas, devido a falta de oxigênio, prejudicando as atividades microbiológicas e o crescimento radicular, reduzindo o volume de solo explorado pelas raízes para absorção dos nutrientes.

A suscetibilidade do solo à compactação quanto aos indicadores de trafegabilidade, pressão de preconsoidação e compressibilidade são influenciadas diretamente pelo teor de água do solo, teor de argila e densidade (Imhoff, 2000).

Pereira et al. (2002a) constataram, em nível de laboratório, que o teor de água de  $0,245 \text{ kg.kg}^{-1}$  proporciona um aumento na resistência do solo à tração com o aumento da pressão aplicada, também concluíram que o teor de água de  $20 \text{ kg.kg}^{-1}$  proporciona um estado estrutural favorável ao aumento da macroporosidade em todas as pressões aplicadas no experimento, 150 kPa, 300 kPa, 450 kPa e 600 kPa.

A modificação dos atributos do solo provocados pelo uso de máquinas agrícolas e florestais (Seixas e Oliveira Junior, 2001), como também pelo pisoteio dos animais irá depender da umidade e da textura do solo (Imhoff et al., 2000).

Em trabalho realizado com cana de açúcar, Iaia (2003) concluiu que os teores de umidade ao longo do perfil do solo tiveram relação direta com a resistência do solo a penetração interferindo nos valores obtidos. Destacou a necessidade da realização de novos trabalhos específicos para cada tipo de solo para se estabelecer a relação de diferentes umidades com RMSP.

Eavis (1972), citado por Seixas e Oliveira Junior (2001), comenta que solos secos são mais resistentes a mudanças na distribuição do tamanho dos poros e essa resistência é reduzida com aumento do conteúdo de água. Quando aumenta o teor de água, a resistência à compactação diminui, em virtude da maior lubrificação das partículas até que atinjam os limites

plásticos inferiores e o teor de água ótimo, onde ocorre a máxima compactação.

A curva de compactação é determinada pelo ensaio de Proctor Normal, padronizado pela ABNT, NBR – 7182 (1986) por intermédio do qual identifica em que teor de água o solo alcançará sua maior densidade. O solo à medida que aumenta o teor de água, até certo valor, torna-se mais trabalhável, resultando em maiores densidades e menores teores de ar. Quando atinge o ponto máximo, ou seja, no vértice da parábola, obtém-se o valor máximo da densidade do solo e da umidade ótima de compactação, a partir desse ponto a densidade começa a decrescer (Silva et al., 1986; Dias Junior e Miranda, 2000). A curva de compactação varia de acordo com o tipo de solo, pois quanto maiores os teores de argila e de matéria orgânica maior a adsorção de água na superfície desses componentes, diminuindo, dessa forma a quantidade de água entre as partículas (Camargo e Alleoni, 1997), no entanto são semelhantes quanto à forma (Caputo, 1977).

Camargo e Alleoni (1997) enfocam que em condições de saturação, a quantidade de água retida pelo solo diminui com a compactação, devido à diminuição da porosidade total. Portanto, a baixas tensões, uma amostra compactada retém menos água do que uma não compactada. No entanto, essa relação se modifica a altas tensões, nas quais um solo compactado retém mais água. A quantidade de água retida pelo solo a tensões acima de 0,01 MPa é de grande interesse para o estudo de sua disponibilidade para as plantas.

A compactação do solo atinge seu limite máximo na consistência plástica quando o conteúdo de água é igual ao da capacidade de campo. Quando o mesmo está com consistência pegajosa, ou seja, com água acima do valor ótimo para compactação, sua densidade diminui, em virtude do aumento do volume do solo pela presença da água (Camargo e Alleoni, 1997).

A determinação da umidade do solo pode ser efetuada de várias formas sendo que o mais convencional tem sido o método gravimétrico, que por intermédio do peso do solo úmido e seco em estufa a 105°C, se

determina percentualmente sua umidade. No entanto, o mais recomendado é a medição volumétrica, por caracterizar o teor de água disponível, expresso pela relação de metro cúbico de água por metro cúbico de solo (Brady, 1989), cujo procedimento mais conveniente é primeiro determinar a umidade em base de peso e depois multiplicar pela densidade do solo (Reichardt e Timm, 2004).

Pode-se ainda utilizar tensiômetros para obtenção da umidade no solo por intermédio da curva de retenção, por ser a alternativa mais barata, sendo por isso mais acessível. Os tensiômetros, possuem ainda a vantagem de ser de utilização relativamente fácil e de produzir resultados de boa precisão. O tensiômetro deve ser instalado de forma a proporcionar um bom contato entre a cápsula porosa e o solo. Quando o potencial matricial da água no solo é menor (mais negativo) que o da água nos poros da cápsula, a água se desloca do tensiômetro para o solo, através dos poros saturados, criando uma sucção medida pela coluna de Hg (Joaquim Junior, 2003).

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Caracterização da Área de Estudo**

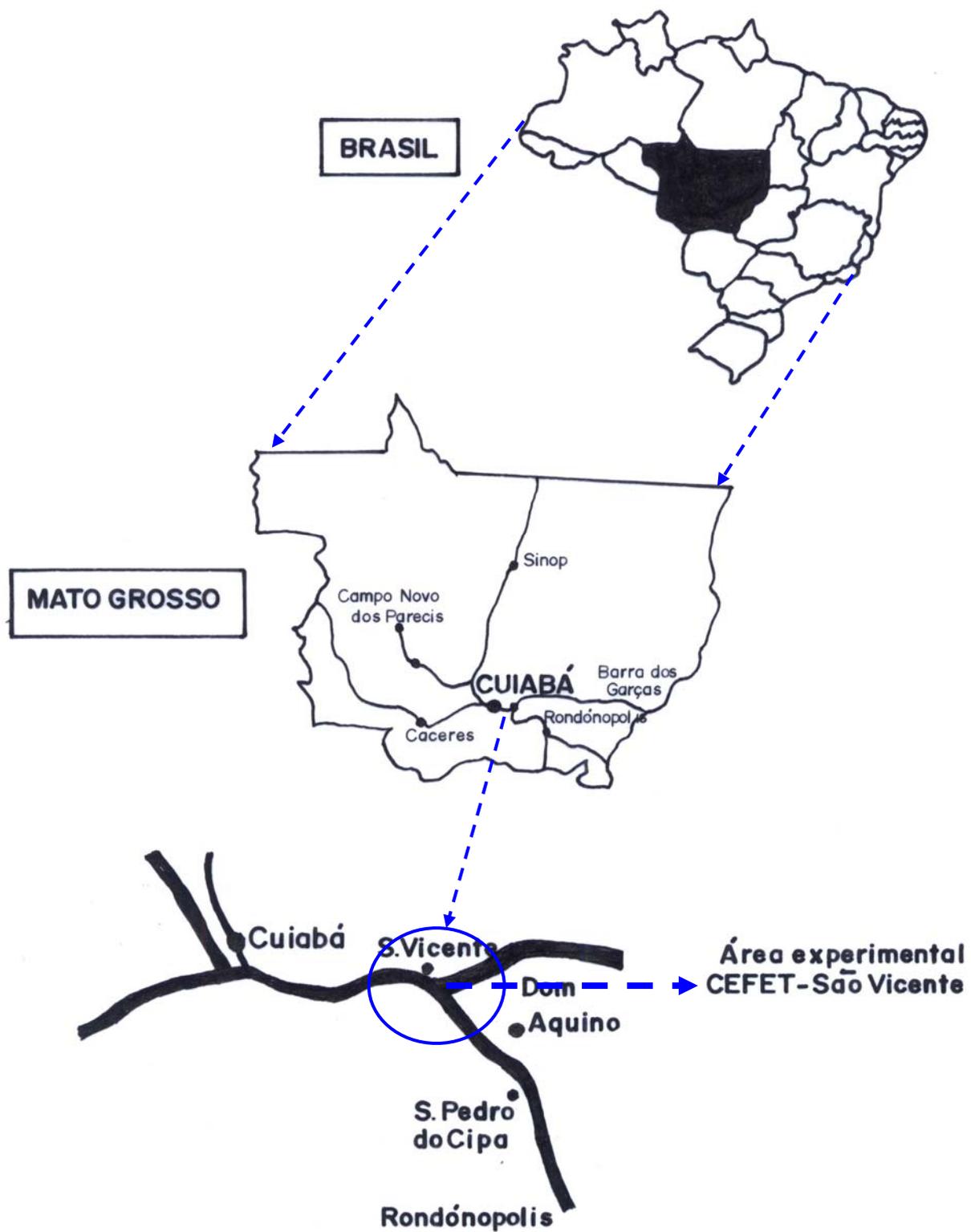
##### **3.1.1 Localização, Clima, Vegetação e Solo**

O experimento foi instalado no Centro Federal de Educação Tecnológica de Cuiabá (CEFET), localizado a 86 km de Cuiabá, margeando a BR 364 (km 329), na bifurcação com a BR 070, Vila de São Vicente da Serra, município de Santo Antonio do Leverger - MT, com coordenadas geográficas 15° 49,174' S e 55° 25,033' W (Figura 1) e altitude de 780 m.

O clima da área, segundo a classificação de Wilhelm Köppen é do tipo transição Cwa – Cwb (C - zona climática temperado chuvoso; w - temperado úmido com inverno seco; a - subtropical, b - tropical) apresentando nítida estação seca no inverno e chuvosa no outono (Oliveira, 2000). Segundo a classificação climática de Thornthwaite, o clima é B4rB'4a', do tipo úmido com pequena ou nenhuma deficiência de água, mesotérmico. A temperatura média anual de 23,31°C, com máxima média anual de 27,67°C e mínima média anual de 18,10°C. A precipitação pluviométrica média anual é 2007 mm (Oliveira et al., 2004b).

A vegetação originária da área do experimento e de toda a região circundante é do tipo Floresta Estacional/Savana (MATO GROSSO, 2003) e também classificada como vegetação tipo Savana Arbórea/Florestas de Galeria (Oliveira et al., 2004b).

O terreno da área experimental apresenta relevo suave ondulado com declividade de 6% (Alves, 1997; EMBRAPA, 2005). O solo, de acordo com



**Figura 1.** Localização da área Experimental do CEFET - São Vicente.

EMBRAPA (1999), é classificado<sup>1</sup> como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico A moderado, com textura argilosa, conforme as características físicas discriminadas na Tabela 1.

**TABELA 1.** Características físicas do solo da área experimental em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico na camada de 0 a 0,40 m em São Vicente da Serra – MT (Oliveira, 2000).

Horizonte		Composição Granulométrica da Terra Fina <sup>1</sup> (g.kg <sup>-1</sup> )			
Símbolo	Prof. (m)	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
Ap	0 a 0,15	250,0	170,0	130,0	450,0
AB	0,15 a 0,40	240,0	170,0	120,0	470,0

Areia Grossa: 2 - 0,20 mm; Areia fina: 0,20 - 0,05 mm; Silte: 0,05 - 0,002 mm, Argila: <0,002 mm. <sup>1</sup> Dispersão com Na OH calgon

### 3.1.2 Histórico da Área Experimental

A área vem sendo explorada a diversos anos cujo preparo do solo sempre foi efetuado pelo sistema convencional realizando uma gradagem aradora e uma ou duas gradagens niveladoras tracionadas por um trator MF 290 com tração dianteira auxiliar (TDA) com, aproximadamente, 86 cv no motor. Nela foram construídos terraços de base larga visando evitar o processo erosivo.

Essa área foi preparada para: i) na safra 1997/98 para o cultivo de milho; ii) em 1998/99 para o cultivo do arroz, da soja, do milho e também para a semeadura de *Brachiaria brizantha*; iii) no período de 1999/2000 e 2000/2001 foi explorada com a bovinocultura de corte, e iv) 2001/2002 foi preparado o solo para o cultivo do sorgo, o qual ficou como pastagem, sendo pastejada com gado de corte até 2004.

O uso contínuo dessa área para a exploração agrícola, como também para o pastejo do gado, propiciou condições para que houvesse o processo de compactação do solo, sendo que nunca foi realizada escarificação ou subsolagem para romper as camadas compactadas.

<sup>1</sup> Classificação de acordo com o sistema Brasileiro de Classificação de Solos, cujo correspondente na Classificação Americana é o Oxisols.

### **3.1.3 Estabilidade de Agregados**

A percentagem dos agregados por classe foi determinada na área do experimento, nas camadas de 0 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m, adotando o processo via úmida com o oscilador vertical Yooder conforme metodologia preconizada pela EMBRAPA (1997).

### **3.1.4 Curva de Compactação**

Visando caracterizar melhor a área estudada foram coletadas amostras de solo na área do experimento em todas as parcelas, nas profundidades de 0 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m, para determinação da curva de compactação utilizando o ensaio de Proctor normal conforme procedimentos descritos pela Associação Brasileira de Normas – ABNT 7182 (1986).

## **3.2 Preparo e Demarcação da Área Experimental**

No preparo da área para a instalação do experimento, em virtude de que o solo estava coberto com sorgo, foi realizada uma gradagem até a profundidade de 0,15 m utilizando uma grade aradora com 16 discos de 26 polegadas e duas gradagens niveladora (Figura 2a) com uma grade de 36 discos de 18 polegadas, tracionadas por um trator Massey Ferguson standard com o solo seco.

A demarcação (Figura 2b) foi efetuada realizando todos os passos para diminuir os erros amostrais devido aos efeitos dos fatores não controlados, tais como: aleatorização das parcelas e subparcelas, piqueteamento e subdivisão das parcelas e subparcelas com barbante, identificação e colocação dos blocos no sentido transversal a declividade do terreno.

## **3.3 Equipamentos Utilizados**

### **3.3.1 Equipamentos Utilizados no Campo**

Para a realização do presente estudo foi utilizado os seguintes equipamentos a campo: i) penetrômetro de impacto (PI); ii) penetrômetro eletrônico automático manual (PEA); iii) tensiômetros; iv) anéis de Kopeck; v) trados, e iv) conjunto de irrigação.



**Figura 2.** Preparo da área e demarcação da área do experimento

### 3.3.2 Equipamentos Utilizados no Laboratório

As análises laboratoriais dos atributos avaliados foram realizadas na Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) utilizando os seguintes equipamentos: i) mesa de tensão; ii) estufas; iii) dessecador; iv) balança eletrônica; v) oscilador vertical Yooder, e vi) aparelho de proctor normal.

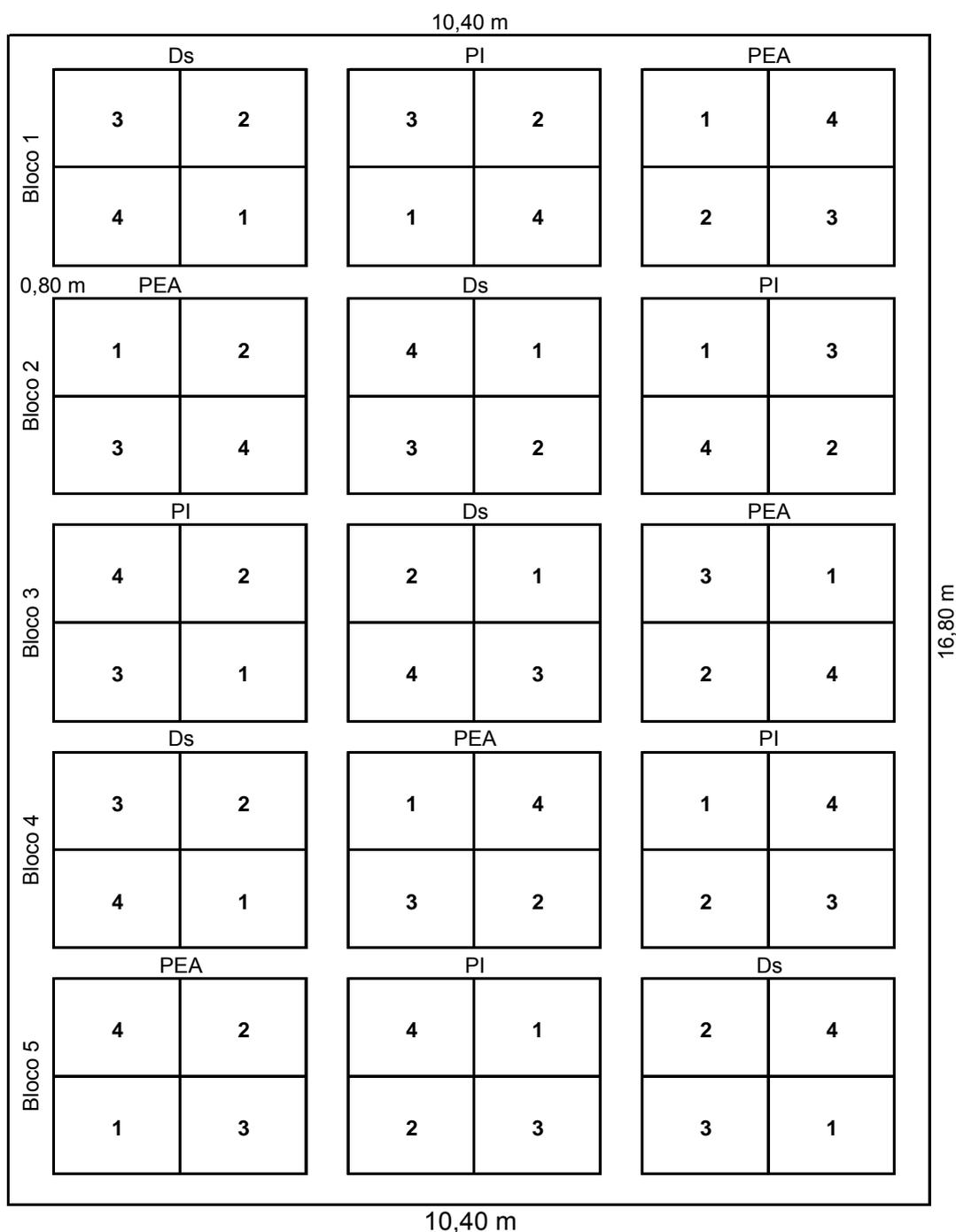
### 3.4 Área Experimental

O experimento foi instalado em uma área total de 174,72 m<sup>2</sup> (10,40 m x 16,80 m), com uma área útil de 86,40 m<sup>2</sup>, subdividida em 60 subparcelas (Figura 3). A área remanescente serviu como bordadura e área para trânsito entre parcelas (0,80 m).

Primeiramente todas as subparcelas foram demarcadas com barbante e identificadas com placas, após o sorteio, para facilitar o trabalho de coleta e anotação dos dados obtidos.

### 3.5 Delineamento Experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com oito tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos foram dispostos em esquema de parcelas subdivididas, sendo quatro faixas de umidade nas



**Figura 3.** Esquema das parcelas e subparcelas da área experimental. Onde: Ds = densidade do solo; PI = penetrômetro de impacto; PEA = penetrômetro eletrônico automático; CC = capacidade de campo; 1 (subparcela acima de 100% da CC); 2 (subparcela com  $\pm 100\%$  da CC); 3 (subparcela com  $\pm 80\%$  da CC), e 4 (subparcela com  $\pm 60\%$  da CC).

parcelas ( $0,2703$  a  $0,3177 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ ;  $0,2545$  a  $0,2702 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ ;  $0,2355$  a  $0,2544 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ ; e  $0,1883$  a  $0,2354 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ ) e duas profundidade de amostragem nas subparcelas ( $0,05$  a  $0,10 \text{ m}$ ;  $0,15$  a  $0,20 \text{ m}$ ).

### 3.6 Saturação da Área

A área total do experimento foi saturada por intermédio do sistema de irrigação convencional do CEFET. Visando efetuar a saturação da área de forma homogênea foram utilizados 4 (quatro) aspersores do tipo PA 100 (Figura 4a), com capacidade para atingir um raio de seis metros cada um. A saturação total da área ocorreu depois de 36 horas de funcionamento. Foi utilizado um pluviômetro (Figura 4b), colocado na área do experimento, para avaliar a quantidade de água utilizada. Com uma média de 30 mm/hora foi estimado o uso de 216.000 (duzentos e dezesseis mil) litros de água para saturar completamente a área até a profundidade de 0,20 m conforme procedimentos descritos por Reichardt (1990).



(a)



(b)

**Figura 4.** Saturação da área com aspersores e pluviômetro.

### 3.7 Monitoramento da Água do Solo

O monitoramento da água do solo ocorreu por intermédio da determinação da umidade gravimétrica e, simultaneamente, com a avaliação do potencial matricial efetuado com as leituras da altura da coluna de Hg nos tensiômetros.

#### 3.7.1 Tensiometria

Tensiômetros são equipamentos utilizados para efetuar a medição direta da tensão da água no solo (Bernardo et al., 2005), ou seja, o resultado das forças capilares e de adsorção que surgem devido à interação entre a

água e as partículas do solo por intermédio do qual se pode correlacionar com o teor de água no perfil estudado. Seu valor é sempre negativo e será nulo quando o solo estiver saturado (Ferreira, 1986).

O monitoramento da umidade do solo foi realizado por uma bateria de quinze tensiômetros, os quais foram instalados após o solo ter sido completamente saturado (Figura 5a). Os mesmos foram instalados por meio da abertura de orifícios no solo com ajuda de um trado fino no centro de cada parcela, cujo centro da cápsula porosa foi colocado na profundidade de 0,10 m de profundidade, buscando o melhor contato da cápsula com o solo. Em seguida, para que as leituras fossem feitas, foram instalados suportes de madeira ao lado do tensiômetro nos quais foram fixados cubas de plástico para colocar o mercúrio a uma altura, aproximada, de 0,35 m do chão. Informações adicionais sobre o uso e confecção desses instrumentos foram obtidas por Silveira e Stone (1994); Santos (2001); Reichardt e Timm (2004).

As leituras foram feitas nos primeiros horários da manhã, ato contínuo as avaliações da RMSP (PI e PEA), coletando a altura da coluna de mercúrio (Figura 5b) em relação a cuba de cada tensiômetro ( $h_0$ ). Com esses valores, coletados em cm Hg, foram calculados o potencial matricial pela eq. (1) (Reichardt, 1990; Reichardt e Timm, 2004).



**Figura 5.** Leitura da coluna de Hg e instalação dos tensiômetros.

$$\Psi_m = -12,6h_o + h_1 + h_2 \dots \dots \dots (1)$$

Onde:

$\Psi_m$  = potencial matricial (cm H<sub>2</sub>O);

$h_o$  = leitura em cm da coluna de Hg;

$h_1$  = altura da cuba de Hg em relação à superfície do solo (cm);

$h_2$  = profundidade de instalação da cápsula porosa (cm) no solo.

### 3.7.2 Umidade Gravimétrica e Volumétrica

Durante a etapa de saturação da área foi coletada, em todas as parcelas, amostras de solo na profundidade de 10 cm para determinação da umidade gravimétrica, visando juntamente com a tensiometria identificar a umidade do solo e o respectivo potencial matricial.

Depois de quatro dias, após a saturação completa da área, foi iniciada concomitantemente com a coleta dos dados da RMSP (PI e PEA), a retirada de amostras de solo para se determinar a umidade gravimétrica nas camadas de 0,05 a 0,10 m (camada I) e 0,15 a 0,20 m (camada II). As mesmas eram coletadas e colocadas em uma sacola afim de protegê-las da radiação solar (Figura 6a) e depois de pesadas eram colocadas na estufa do CEFET (Figura 6b), as quais ficavam por 24 horas na temperatura de 105°C, de acordo com a metodologia da EMBRAPA (1997).



(a)



(b)

**Figura 6.** Coleta de amostras de solo para cálculo da umidade gravimétrica.

A determinação da umidade volumétrica ( $m^3.m^{-3}$ ) foi realizada por intermédio da multiplicação da umidade gravimétrica pela densidade média do solo encontrada em cada bloco.

### 3.8 Esquema de Amostragem

#### 3.8.1 Resistência Mecânica do Solo a Penetração

Os dados da resistência mecânica do solo a penetração foram coletados no horário das 07:30 às 09:00 horas no período de 29/9 a 09/10/2005. Sendo que no dia 9 foi efetuada uma coleta pela manhã (M) e outra no final da tarde (T). Cada dia era realizado, tanto para o PI (Figura 7) como para PEA (Figura 8), três leituras, totalizando 55 (cinquenta e cinco) dados para o PI em cada camada estudada (0,05 a 0,10 m e 0,15 a 0,20 m). Procedimento idêntico foi realizado nas parcelas e subparcelas do PEA nas quais também foram coletadas cinquenta e cinco valores em cada camada.

		PI								
		29/9	30/9	1/10	2/10					
Bloco 5	4	x	x	x	x	1,20 m				
		$\theta$ x	$\theta$ x	1	$\theta$ x					$\theta$ x
		x	x	x	x					
	4/10	5/10	6/10	7/10	8/10	9/10M	9/10T			
	x	x	x	x	x	x	x			
	$\theta$ x	$\theta$ x	2	$\theta$ x	$\theta$ x	$\theta$ x	3	$\theta$ x	1,20 m	
	x	x	x	x	x	x	x			
		1,20 m		1,20 m						

**Figura 7.** Localização dos pontos de coleta da RMSP pelo PI. Onde: x = representa os três pontos avaliados/dia da RMSP na prof. de 0 a 0,30 m e  $\theta$  = ponto de coleta de solo/dia para determinação do teor de água na prof. de 0,05 a 0,10 m e 0,15 a 0,20 m, M (manhã), T (tarde).

Nas subparcelas 4 não foi realizado a avaliação da RMSP pelo PI e PEA tendo em vista que no dia 10 começou a chover voltando a saturar o

solo, interrompendo a coleta dos dados. Motivo pelo qual não ocorreu a coleta da RMSP com o solo com 30% da CC.

		PEA				1,20 m			
		4/10	5/10	6/10	7/10				
Bloco 5	4				X	X	X	X	1,20 m
		$\theta$ x	$\theta$ x	2	$\theta$ x	$\theta$ x			
		X	X		X	X			
	29/9	30/9	1/10	2/10	8/10	9/10M	9/10T	1,20 m	
	X	X	X	X	X	X			
	$\theta$ x	$\theta$ x	1	$\theta$ x	$\theta$ x	$\theta$ x	3		$\theta$ x
	X	X	X	X	X	X	X		
		1,20 m				1,20 m			

**Figura 8.** Localização dos pontos de coleta da RMSP pelo PEA. Onde: x = representa os três pontos avaliados/dia da RMSP na prof. de 0 a 0,30 m e  $\theta$  = ponto de coleta de solo/dia para determinação do teor de água na prof. de 0,05 a 0,10 m e 0,15 a 0,20 m.

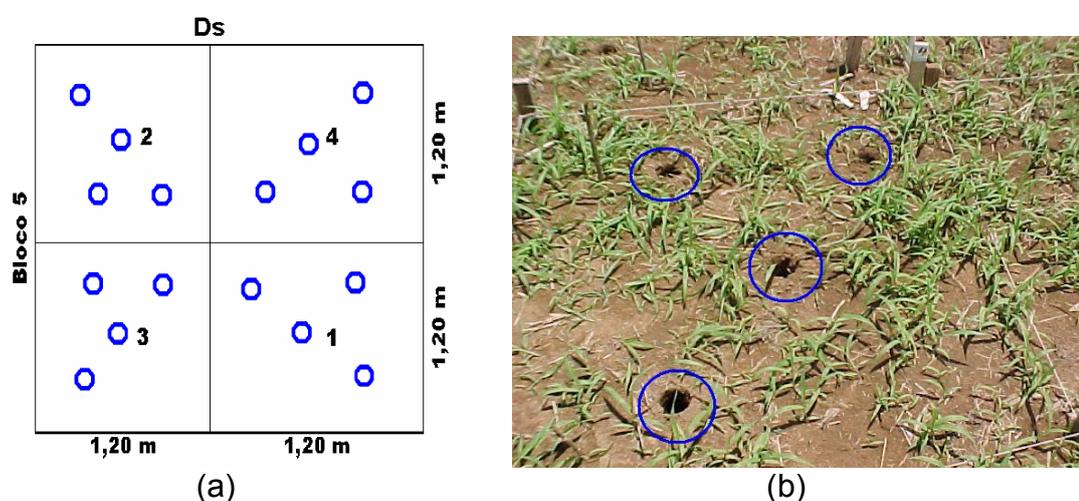
### 3.8.2 Densidade do Solo

A amostragem da área do experimento para avaliação da densidade do solo (Ds) ocorreu em único dia em virtude de que as densidades de solo obtidas em cada parcela são representativas da área experimental. O esquema de coleta das amostras para determinação da Ds pode ser visto nas Figuras 9a e 9b, no qual foram coletadas 4 (quatro) amostras de solo em cada uma das subparcelas do tratamento Ds, nas camadas de 0,05 a 0,10 (camada 1) e 0,15 a 0,20 m (camada 2). Assim, foram extraídas 80 (oitenta) amostras em cada camada estudada.

### 3.9 Teores de Água do Solo

Todos os teores de água do solo obtidos por ocasião da coleta dos dados de resistência a penetração, tanto para o PI como para o PEA, na camada I (0,05 a 0,10 m) e camada II (0,15 a 0,20 m), foram estratificadas em 4 (quatro) faixas de umidade dividida conforme os quartis gerados pelo

programa estatístico Minitab versão 13.0 (E-ACADEMY, 2000). Adotou-se a recomendação de Kiehl (1979), ratificado por Beutler et al. (2002) e Bernardo et al. (2005), em que a água do solo está na capacidade de campo quando ela está retida a uma força igual a um terço da atmosfera (0,33 atm). As faixas estudadas foram: F1: 0,2703 a 0,3177  $\text{m}^3.\text{m}^{-3}$  (acima da capacidade de campo); F2: 0,2545 a 0,2702  $\text{m}^3.\text{m}^{-3}$  ( $\pm 100\%$  da capacidade de campo); F3: 0,2355 a 0,2544  $\text{m}^3.\text{m}^{-3}$  ( $\pm 80\%$  da capacidade de campo), e F4: 0,1883 a 0,2354  $\text{m}^3.\text{m}^{-3}$  ( $\pm 60\%$  da capacidade de campo).



**Figura 9.** Esquema de coleta amostras para densidade do solo. Onde  $\bigcirc$  Representa os pontos amostrados nas duas camadas (I e II) em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico.

### 3.10 Atributos do Solo Avaliados

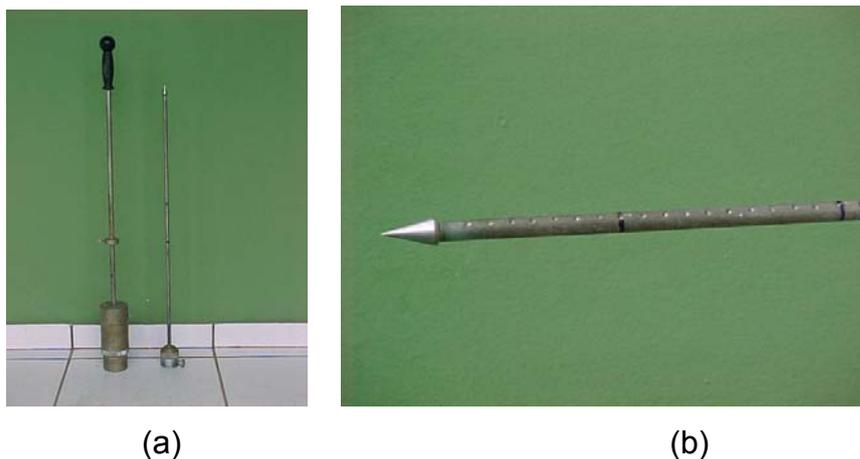
Os atributos físicos do solo estudados foram: i) resistência mecânica do solo a penetração avaliada pelo penetrômetro de impacto e penetrômetro eletrônico automático manual; ii) densidade do solo; iii) macroporosidade; iv) microporosidade; v) porosidade total; vi) estabilidade dos agregados; vii) umidade, e viii) curva de compactação.

#### 3.10.1 Resistência Mecânica do Solo a Penetração

##### 3.10.1.1 Penetrômetro de Impacto

O penetrômetro de impacto (PI) modelo IAA/Planalsucar, descrito por Stolf et al. (1983) e Stolf (1991), foi um dos equipamentos utilizados para avaliar a resistência mecânica do solo a penetração (RMSP). O mesmo

apresenta as seguintes características: i) peso de carga móvel = 4 kg; ii) curso de queda livre = 0,40 m; iii) ângulo do cone da extremidade da haste = 30°; iv) área da base da haste = 1,29 cm<sup>2</sup> (ponteira fina); v) peso total do equipamento = 7,20 kg (Figuras 10a e 10b).



**Figura 10.** Penetrômetro de impacto.

A coleta dos dados com o PI foi realizada na camada de 0 a 0,30 m por intermédio da penetração da haste no solo ocasionada pelo impacto da massa de 4,0 kg indicando a profundidade alcançada por impacto. Esses valores foram digitados na planilha do Excel 2003 e calculados o índice de cone (IC). As resistências oferecidas por cada impacto no perfil do solo foram estratificadas a cada 0,05 m até a profundidade de 0,30 m conforme metodologia descrita por Stolf (1991) e recomendada por Couto (2005). Para avaliação da RMSP efetuada pelo PI foi utilizada a eq. (2) por ser a mais recomendada (Stolf, 1991), cujo resultado foi dividido por 0,0980665 para transformar a RMSP de kgf.cm<sup>-2</sup> para MPa (Camargo e Alleoni, 1997) e estratificado em camadas de 5 cm.

$$R = (5,6 + 6,89N) / 0,0980665 \dots \dots \dots (2)$$

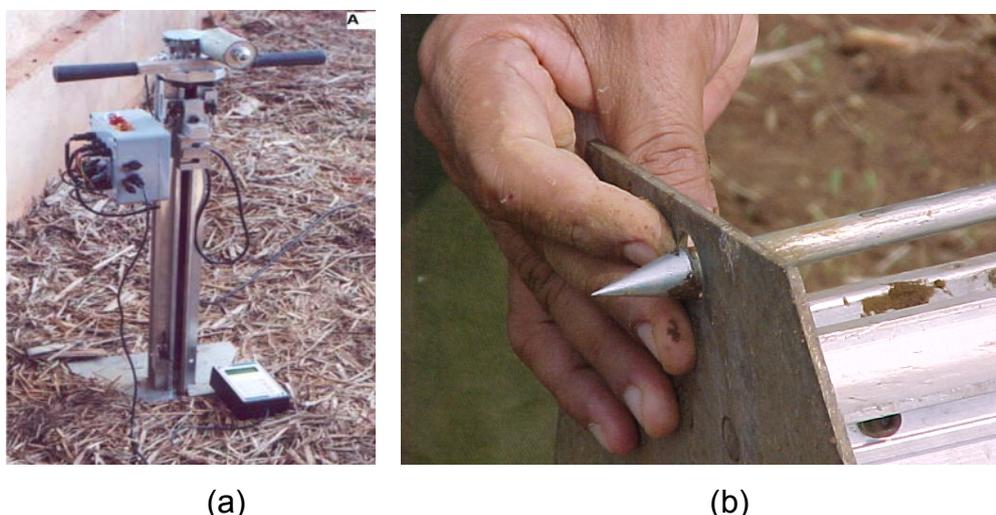
Onde:

$R$  = Resistência mecânica do solo à penetração (MPa);

$N$  = nº de impactos/dm.

### 3.10.1.2 Penetrômetro Eletrônico Automático Manual

O penetrógrafo eletrônico automático manual (PEA) utilizado foi desenvolvido por Bianchini et al. (2002), de acordo com a norma da ASAE S313-2 (American Society of Agricultural Engineers, 1998) com uma velocidade de penetração padrão de 30 mm/s. Esse equipamento é compacto, automatizado, de fácil manuseio e alto rendimento operacional alcançando a média de um ensaio por minuto. Os dados são coletados e armazenados em um datalogger que são transferidos para um computador utilizando uma interface de comunicação e transferidos para uma planilha do Excel 2003. Por intermédio da qual os valores coletados em kPa foram transformados em MPa e estratificados de 5 em 5 cm. O equipamento (Figura 11a) é composto de alguns acessórios indispensáveis: i) uma bateria de 45 amperes, ii) um datalogger, iii) ângulo do cone da extremidade da haste = 30°; iv) área da base da haste = 1,29 cm<sup>2</sup> (ponteira fina) (Figura 11b).



**Figura 11.** Penetrômetro eletrônico automático manual.

### 3.10.2 Densidade

A densidade do solo ( $D_s$ ) foi determinada utilizando anéis de Kopeck com 100 cm<sup>3</sup> com os quais foram coletadas as amostras indeformada de solo. O cálculo da densidade foi realizado de acordo com a metodologia da EMBRAPA (1997).

### **3.10.3 Porosidade do Solo**

Na determinação da porosidade do solo foram utilizadas as mesmas amostras indeformadas, utilizadas na determinação da densidade do solo. As amostras inicialmente foram levadas a mesa de tensão para a obtenção dos valores para o cálculo da macroporosidade. Em seguida foram determinados a microporosidade e a porosidade total seguindo a metodologia descrita por Kiehl (1979). Com os valores obtidos foram calculados:

#### **3.10.3.1 Macroporosidade**

A macroporosidade do solo, considerada como sendo o volume de água ocupado pelos macroporos, foi determinada conforme recomendação de Kiehl (1979).

#### **3.10.3.2 Microporosidade**

A microporosidade do solo, considerada como sendo o volume de água retido pelos microporos, foi calculada com base na equação proposta por Kiehl (1979).

#### **3.10.3.3 Porosidade Total**

A porosidade total representa o somatório da macroporosidade e microporosidade.

### **3.11 Análise Estatística**

Os dados coletados foram submetidos à análise de variância e teste de Tukey a 5% para comparação das médias conforme metodologia descrita por Banzato e Kronka (1992) processado pelo programa estatístico SAEG versão 7.1 (UFV, 1997). Foram realizadas correlações de Pearson entre os resultados obtidos com os penetrômetros e, destes com os atributos físicos do solo, em cada faixa de umidade e profundidade.

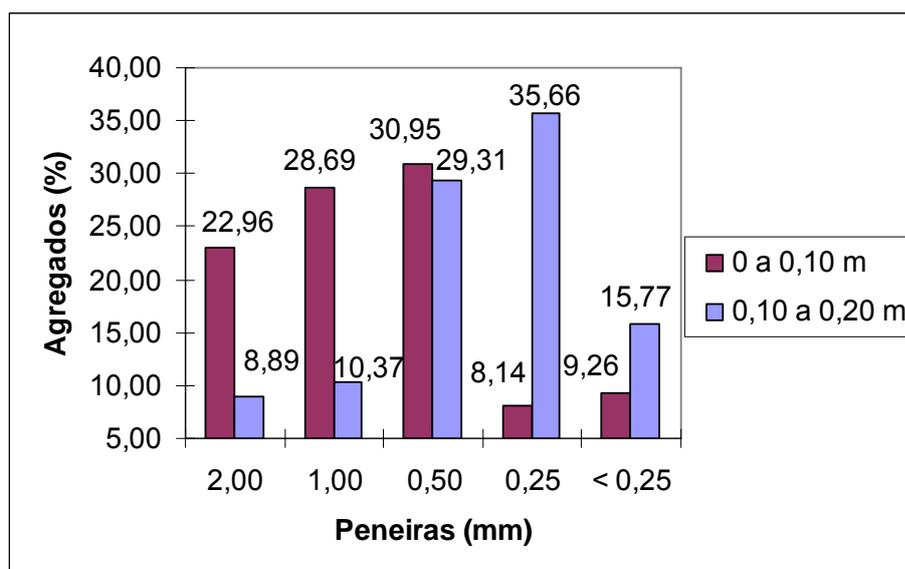
Com a finalidade de obter melhores resultados, optou-se pela eliminação de pontos amostrais que apresentassem resíduos padronizados

menor que -2 ou maior que 2, obtidos da regressão linear entre os valores observados e os estimados, o que possibilitou a identificação e exclusão das amostras com valores discrepantes, cujo resíduo estivesse fora do intervalo de confiança da média com 95% de probabilidade, de acordo com Sguarezi (2002) e Azevedo (2004). A exclusão dos valores foi realizada até o limite máximo de 20% dos pontos amostrais utilizando o programa estatístico Minitab versão 13.0.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Estabilidade de Agregados

Os agregados da área estudada apresentaram comportamento completamente diferente nas duas profundidades, conforme Figura 12, devido o uso intensivo de máquinas e implementos para preparo do solo pelo sistema convencional.



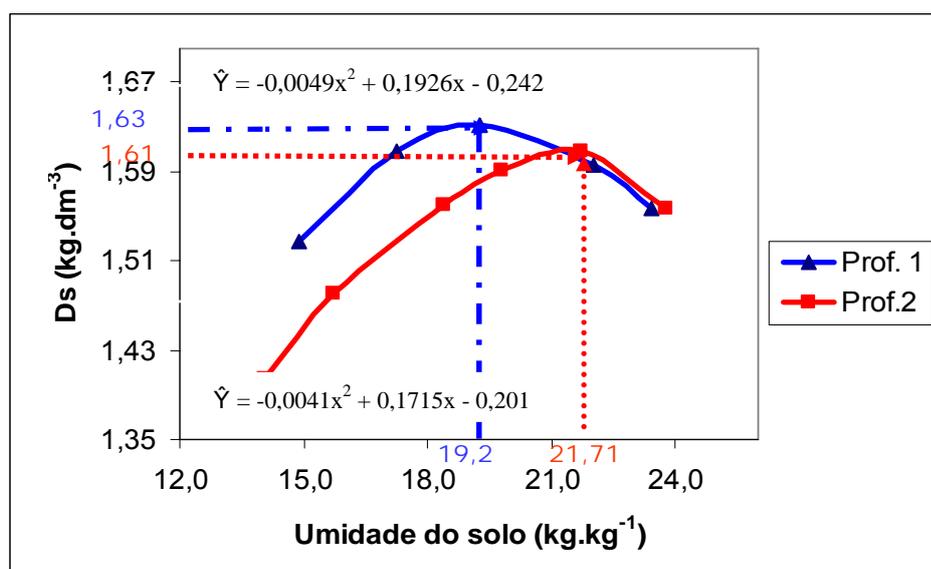
**Figura 12.** Distribuição em porcentagem, dos agregados, nas camadas de 0 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico.

Na camada de 0,0 a 0,10 m de profundidade mais de 50% dos agregados ficaram retidos nas peneiras de 1,0 e 2,0 mm, enquanto que na camada inferior (0,10 a 0,20 m) apenas 19,26% dos agregados ficaram retidos nessas peneiras. Isso se inverte quando se analisa os percentuais de agregados retidos nas peneiras com malhas mais finas onde mais de 80%

dos agregados estão retidos nas peneiras com malhas iguais ou menos que 0,50 m,m. Esses valores evidenciam a desagregação do solo devido ao uso contínuo de máquinas e implementos realizando o preparo do solo pelo sistema convencional, sobretudo com grade (aradora e niveladora).

## 4.2 Curva de Compactação

Na Figura 13 verifica-se que na camada de 0 a 0,10 m a densidade máxima alcançada foi de 1,63 kg.dm<sup>-3</sup>, indicando o maior nível de compactação que esse solo pode alcançar quando o teor de água for de 0,192 kg.kg<sup>-1</sup> de umidade. Entretanto, vê-se também na Figura 13 que na camada de 0,10 a 0,20 m o nível máximo de compactação, ou seja, maior densidade alcançada por esse solo foi de 1,61 kg.dm<sup>-3</sup> quando o teor de água for de 0,217 kg.kg<sup>-1</sup>.



**Figura 13.** Curvas de compactação em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico. Onde: Prof. 1 (camada 0 a 0,10 m) e Prof. 2 (camada 0,10 a 0,20 m).

Assim, de acordo com os valores médios da densidade do solo (Tabela 5) 1,29 kg.dm<sup>-3</sup> (0,05 a 0,15 m) e 1,38 kg.dm<sup>-3</sup> (0,15 a 0,20 m), o solo da área em estudo ainda não atingiram o limite máximo para compactação do solo. Valores semelhantes, com relação à camada I, foram

obtidos por Dias Junior e Miranda (2000) em LATOSSOLO VERMELHO-Amarelo Distrófico, textura argilosa.

#### 4.3 Análise de Variância

Os dados relativos a análise de variância dos atributos físicos: resistência mecânica do solo a penetração (RMSP) avaliados com o penetrômetro de impacto (PI) e penetrômetro eletrônico automático manual (PEA); densidade do solo (Ds); macroporosidade (Ma); microporosidade (Mi) e porosidade total (Pt) coletados na camada I (0,05 a 0,10 m) e camada II (0,15 a 0,20 m) nas quatro faixas de umidade, estão representados na Tabela 2.

Observou-se efeito significativo da umidade ( $p < 0,01$ ) somente para a característica resistência mecânica do solo a penetração para os penetrômetros PI e PEA. Esses resultados concordam com aqueles encontrados por Torres e Saraiva (1999), Beutler et al. (2002), Roque et al. (2003) e Menossi (2004).

Verificou-se efeito significativo da profundidade ( $p < 0,01$ ) para as características: RMSP (PI e PEA), densidade do solo, macroporosidade e porosidade total. Por outro lado, não houve efeito significativo da interação umidade x profundidade nas características avaliadas.

A análise de variância relativa a umidade do solo verificou que o maior coeficiente de variação (CV) ocorreu com o PI (21,24%), seguido do PEA (6,80%), sendo que a Ds foi o atributo que teve menor influência da variação dos dados pois obteve menor CV (1,99%).

A análise de variância também constatou, quanto ao fator profundidade, que a macroporosidade (Ma) foi o atributo que alcançou maior CV (15,41%). Os coeficientes de variação do PI (15,21%) e do PEA (6,43%), nesse fator, em virtude da diminuição dos espaços porosos entre as duas profundidades, contribuiu para elevação dos valores da RMSP da camada I (0,05 a 0,10 m) para a camada II (0,15 a 0,20 m). Vários trabalhos avaliando

**TABELA 2.** Resumo da análise de variância dos dados de resistência a penetração obtida pelo penetrômetro de impacto (PI), penetrômetro eletrônico automático manual (PEA), densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (Pt) nas camadas de 0,05 a 0,10 m e 0,15 a 0,20 m nas quatro faixas de umidade em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico no Estado de Mato Grosso.

Fonte de Variação	GL	Quadrados médios					
		PI	PEA	Ds	Ma	Mi	Pt
Bloco	4	0,3117	0,1238**	0,0095**	15,2570**	3,5427	10,0032**
Umidade (U)	3	4,0687**	0,1838**	0,0005	1,5044	1,2786	0,4309
Erro a	12	0,4261	0,0148	0,0007	2,6629	1,8246	0,9433
Profundidade (P)	1	59,2435**	0,1243**	0,0792**	130,935**	0,1177	140,026**
UxP	3	0,1669	0,0123	0,0002	0,7102	0,3079	0,2948
Erro b	16	0,2184	0,0133	0,0008	2,1859	0,9518	1,1367
CV (a)	-	21,24	6,80	1,99	17,01	3,74	2,12
CV (b)	-	15,21	6,43	2,08	15,41	2,70	2,33

\*\* : Significativo ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste F.

a RMSP utilizando o PI encontraram elevado CV. Bianchini et al. (2005), estudando LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, típico, textura argilosa, encontraram CV de 48,21% para a camada de 0 a 0,10 m e 20,71% para a camada de 0,10 a 0,20 m.

O CV da RMSP do PEA é bem inferior ao do PI, em virtude do mesmo apresentar velocidade constante, diminuindo a resistência mecânica do solo a penetração, tornando os valores mais homogêneos (Camargo e Alleoni, 1997; Torres e Saraiva, 1999). Em trabalho realizado em LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico, Mercante et al. (2003) encontraram CV de 12% utilizando um penetrógrafo de haste em uma área cujas plantas daninhas foram controladas com herbicida na camada de 0,10 a 0,20 m. Comportamento diferente foi verificado por Silva et al. (2004), utilizando penetrômetro eletrônico em NITOSSOLO VERMELHO, obtendo maior CV (52,1%) na camada de 0 a 0,15 m e menor CV (25,4%) na camada de 0,15 a 0,30 m.

#### **4.4 Resistência Mecânica do Solo a Penetração Avaliada com Penetrômetro de Impacto**

Na análise dos dados da Tabela 3, vê-se que houve variação significativa ao nível de 5% de probabilidade dos valores da RMSP obtido pelo penetrômetro de impacto (PI) nas duas camadas (0,05 a 0,10 m e 0,15 a 0,20 m).

Os dados médios obtidos na camada I (0,05 a 0,10 m) registram aumentos gradativos em função das faixas de umidade analisadas, variando de 1,34 a 2,64 MPa, quando a umidade média decresceu de  $0,2940 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$  para  $0,2119 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ .

Na camada II (0,15 a 0,20 m) os valores de resistência mecânica do solo são superiores aos valores encontrados na camada I e o comportamento dos dados foi semelhante ao que aconteceu na camada I, ou seja, variaram de 3,42 a 5,05 MPa quando a umidade média diminuiu de  $0,2940 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$  para  $0,2119 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ .

**TABELA 3.** Valores médios da RMSP (MPa) obtida pelo PI nas camadas de 0,05 a 0,10 m e 0,15 a 0,20 m nas quatro faixas de umidade em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico no Estado de Mato Grosso.

Camadas (m)	Faixas de Umidade ( $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ )				MÉDIA
	0,2703 a 0,3177 (F1)	0,2545 a 0,2702 (F2)	0,2355 a 0,2544 (F3)	0,1883 a 0,2354 (F4)	
	MPa				
0,05 a 0,10 (I)	1,34	1,44	1,99	2,64	1,86 B
0,15 a 0,20 (II)	3,42	4,09	4,60	5,05	4,29 A
MÉDIA	2,38 c	2,77 bc	3,30 ab	3,84 a	3,07

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na vertical e minúscula na horizontal, não diferem pelo teste Tukey ( $P < 0,05$ ).

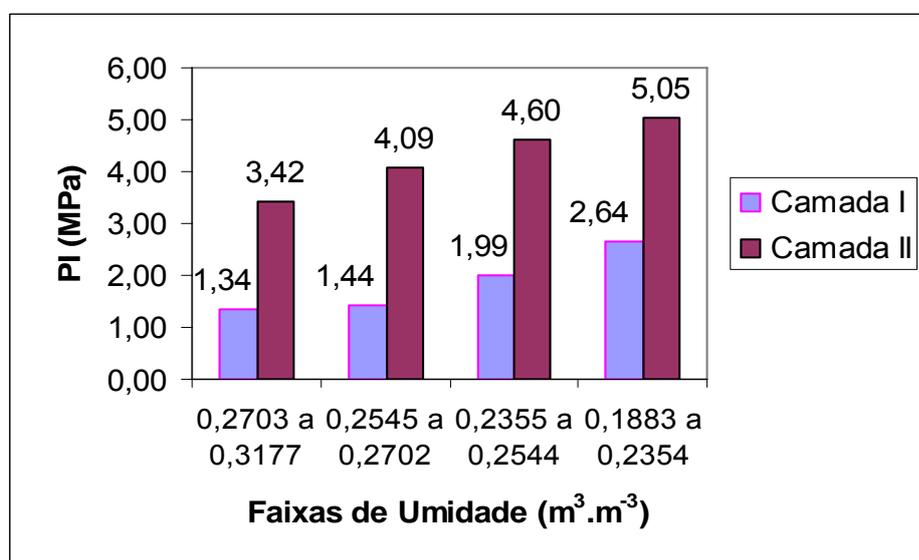
Os dados médios de RMSP usando o PI apresentados na Tabela 3 mostram diferenças estatísticas significativas entre a faixa de umidade 4 (0,1883 a 0,2354  $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ ) e as faixas de umidade 1 (0,2703 a 0,3177  $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ ) e a faixa 2 (0,2545 a 0,2702  $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ ) onde os valores de RMSP são, respectivamente, 3,84 MPa, 2,38 MPa e 2,77 MPa.

O teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade identificou diferença estatística significativa quando comparou as médias de RMSP entre as duas camadas estudadas. Souza et al. (2004) confirma esse resultado, pois encontraram diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) de RMSP na camada de 0 a 0,20 m estratificadas a cada 0,05 m em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico.

O comportamento da RMSP nas duas camadas pode ser visualizado na Figura 14 onde vê-se que ela apresenta a mesma tendência, ou seja, à medida que há mudança de faixa (diminuição da umidade), há uma correspondente variação crescente da RMSP nas duas camadas.

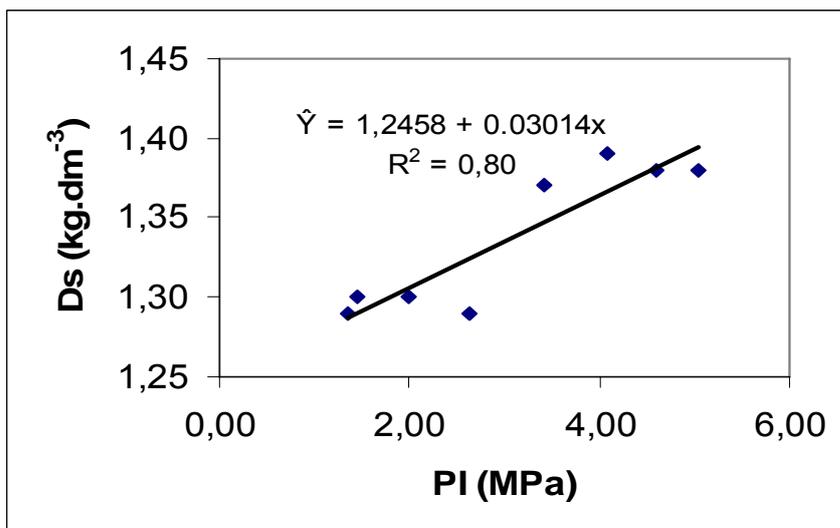
Aumento expressivo da RMSP em profundidade superior a 0,12 m também foi encontrado em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico textura argilosa por Bianchini et al. (2005), que defendem a tese de que o aumento da RMSP em profundidade pode ser gerado pelo impacto da massa (4 kg) do êmbolo do PI provocando a flambagem da haste a qual transfere parte da energia de impacto para a parede de orifício da sondagem. Roque et al.

(2003) encontraram valores semelhantes em LATOSSOLO VERMELHO em lavoura de algodão na camada de 0 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m, respectivamente, de 1,27 e 3,57 MPa, na umidade de  $0,14 \text{ kg.kg}^{-1}$ . Segundo Torres e Saraiva (1999), esse aumento ocorre devido a ponteira sofrer maior confinamento. Outros pesquisadores encontraram resultados semelhantes trabalhando com o PI em algumas classes de solo: LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico textura muito argilosa (Souza et al., 2004), LATOSSOLO VERMELHO Distrófico com 44 a 50% de argila (Ribon et al., 2003) e em Planossolo Solódico com textura média (Pedrotti et al., 2001).



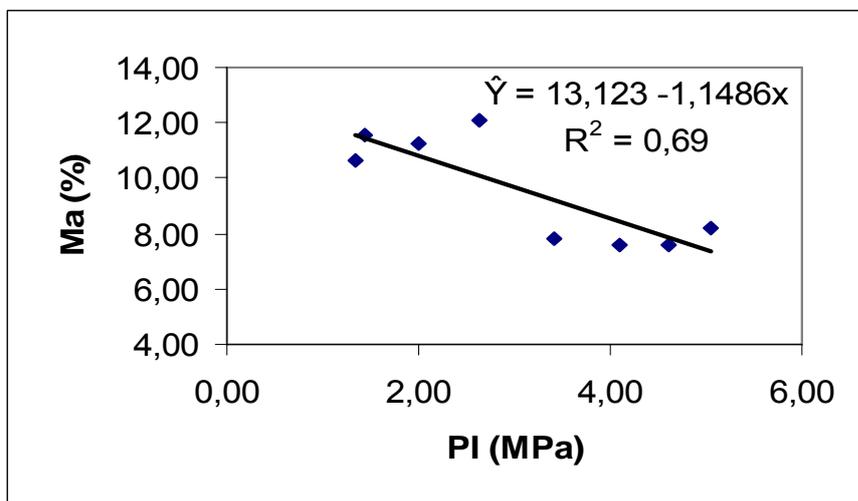
**Figura 14.** Comportamento do PI nas quatro faixas de umidade (F1, F2, F3 e F4) avaliada na camada I (0,05 a 0,10 m) e camada II (0,15 a 0,20 m) em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico no Estado de Mato Grosso.

Avaliou-se a relação entre a densidade do solo ( $D_s$ ) e RMSP pelo penetrômetro de impacto (PI) encontrando-se a equação:  $\hat{Y} = 1,2458 + 0,03014x$ ,  $R^2 = 0,80$  (Figura 15), alcançando uma correlação ( $r$ ) de 0,89. Resultados semelhantes foram obtidos por Beutler et al. (2002) e Roque et al. (2003) em LATOSSOLO VERMELHO Distroférico obtendo correlações positivas e significativas acima de 0,79 da RMSP (PI) com a densidade do solo ( $D_s$ ).



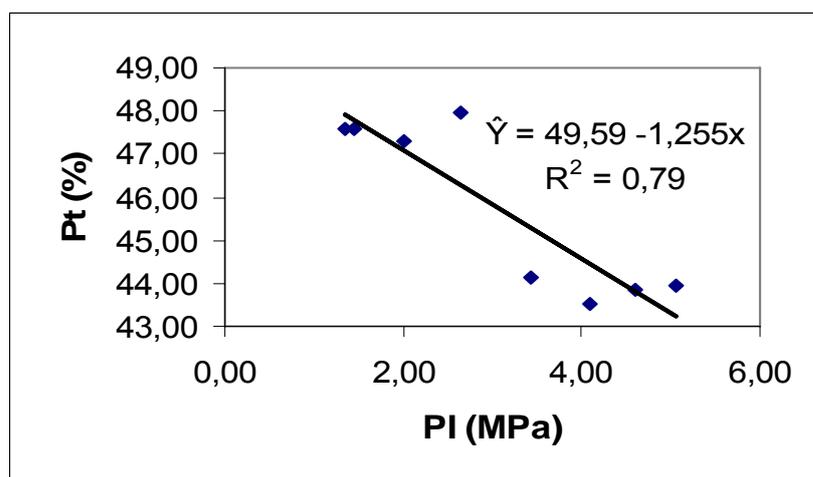
**Figura 15.** Densidade do solo estimada em função dos valores médios da RMSP obtida pelo PI nas quatro faixas de umidade em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico no Estado de Mato Grosso.

Da mesma forma, verificou-se a relação entre macroporosidade e a RMSP avaliada pelo PI, obtendo-se a equação  $\hat{Y} = 13,1223 - 1,14839x$ ,  $R^2 = 0,69$  (Figura 16).



**Figura 16.** Macroporosidade estimada em função dos valores médios da RMSP obtida pelo PI nas quatro faixas de umidade em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico no Estado de Mato Grosso.

De acordo com a Figura 17, observa-se a relação entre a porosidade total e a RMSP obtido pelo PI, resultante da equação:  $\hat{Y} = 49,5908 - 1,25488x$ ;  $R^2 = 0,79$ .



**Figura 17.** Porosidade total estimada em função dos valores médios da RMSP obtida pelo PI nas quatro faixas de umidade em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico no Estado de Mato Grosso.

#### 4.5 Resistência Mecânica do Solo a Penetração Avaliada com Penetrômetro Eletrônico Automático Manual

A Tabela 4 contém os valores médios da RMSP obtidos com o penetrômetro eletrônico automático manual (PEA) em duas camadas: camada I (0,05 a 0,10m) e camada II (0,15 a 0,20m).

Na camada I, a resistência mecânica do solo aumentou gradativamente em função da diminuição da umidade, passando de 1,62 MPa na faixa 1 (0,2703 a 0,3177  $m^3 \cdot m^{-3}$ ) para 1,97 MPa na faixa 4 (0,1883 a 0,2354  $m^3 \cdot m^{-3}$ ). Na camada II, a RMSP teve o mesmo comportamento anteriormente descrito, variando de 1,72 MPa a 1,99 MPa, respectivamente, da faixa 1 (acima da capacidade de campo), para a faixa 4 ( $\pm 60\%$  da capacidade de campo).

A pequena diferença entre os valores de RMSP obtido pelo PEA deve-se ao fato do mesmo funcionar com motor elétrico, transferindo carga constante a ponteira. Resultados similares foram encontrados em Latossolos utilizando penetrômetros eletrônicos com velocidade constante, tais como:

Klein et al. (1998), Lanças e Santos (1998), Lanças et al. (1999), Bianchini et al. (2002), Bianchini et al. (2005) e Silva (2004).

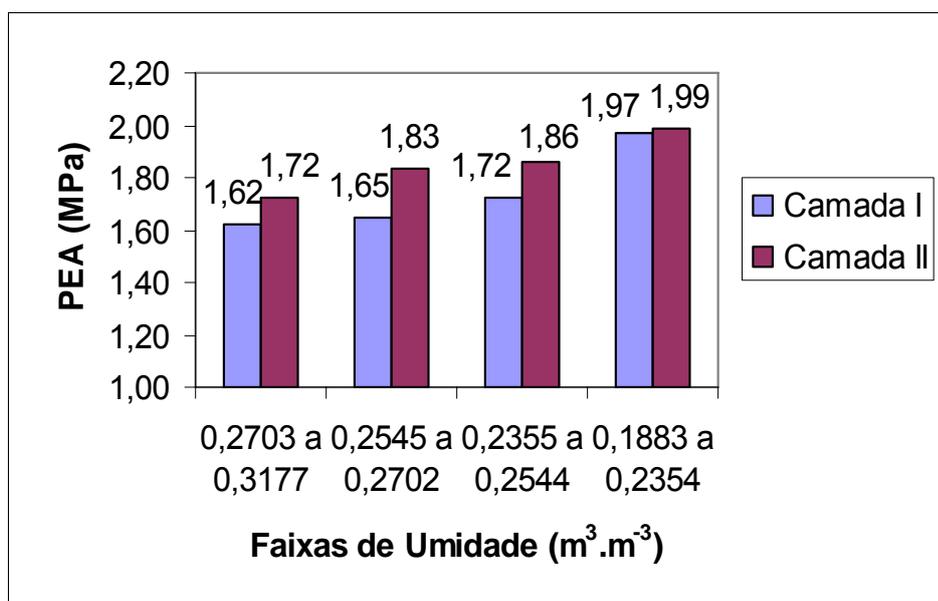
**TABELA 4.** Valores médios da RMSP (MPa) obtida pelo PEA nas camadas de 0,05 a 0,10 m e 0,15 a 0,20 m nas quatro faixas de umidade em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico no Estado de Mato Grosso.

Camadas (m)	Faixas de Umidade ( $m^3 \cdot m^{-3}$ )				MÉDIA
	0,2703 a 0,3177 (F1)	0,2545 a 0,2702 (F2)	0,2355 a 0,2544 (F3)	0,1883 a 0,2354 (F4)	
MPa					
0,05 a 0,10 (I)	1,62	1,65	1,72	1,97	1,74 B
0,15 a 0,20 (II)	1,72	1,83	1,86	1,99	1,85 A
MÉDIA	1,67 b	1,74 b	1,79 b	1,98 a	1,79

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na vertical e minúscula na horizontal, não diferem pelo teste Tukey ( $P < 0,05$ ).

A análise estatística mostra diferenças significativas entre as médias analisadas entre as duas camadas. Sendo que a média da RMSP na camada II foi superior a média da camada I. Isso se deve ao fato, principalmente, da pressão das partículas do solo das camadas superiores sobre as camadas mais inferiores. Isso acontece em solos manejados ao longo dos anos.

A Figura 18 mostra o comportamento das médias de RMSP obtida pelo PEA em função das faixas de umidade. Pode-se concluir que a amplitude dos dados coletados com o PEA foi bem inferior aos dados do PI, conforme pode ser visto na Figura 14. Depreende-se que à medida que ocorre o aumento do teor de água no solo há diminuição da resistência mecânica oferecida pelo solo a penetração do PEA, conforme constatação também efetuada por Klein et al. (1998), Genro Junior et al. (2004), Dias Junior et al. (2004) e Cunha et al. (2002).



**Figura 18.** Comportamento do PEA nas quatro faixas de umidade (F1, F2, F3 e F4) avaliado na camada I (0,05 a 0,10 m) e camada II (0,15 a 0,20 m) em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico no Estado de Mato Grosso.

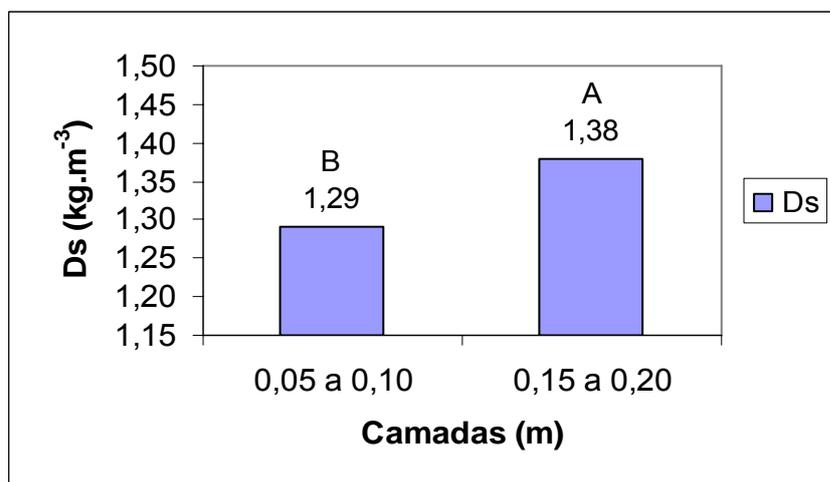
#### 4.6 Densidade do solo

Não houve diferença significativa nos valores médios da densidade do solo nas quatro faixas de umidade estudadas, com valores variando de 1,33 a 1,35  $kg \cdot dm^{-3}$  (Tabela 5). Exceto entre as médias nas profundidades, observando-se os valores de 1,29 e 1,38  $kg \cdot dm^{-3}$  (Tabela 5 e Figura 19), respectivamente, nas camadas I e II. Esse está de acordo com os valores da estabilidade dos agregados contido na caracterização da área em estudo, tendo em vista que 80,74% dos agregados da camada II têm diâmetro menor do que 0,50 mm, permitindo o aumento da densidade do solo provocado pelo processo de compactação do solo devido o uso contínuo do preparo do solo pelo sistema convencional, formando “pé-de-grade”. Longo et al. (1999) obtiveram resultados semelhantes, estudando agregados em Latossolos sob pastagem, cuja diminuição dos diâmetros dos agregados poderia ser devido ao manejo do solo, diminuindo o teor de matéria orgânica na camada superficial do solo.

**TABELA 5.** Valores médios da densidade do solo ( $\text{kg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ) nas camadas de 0,05 a 0,10 m e 0,15 a 0,20 m nas quatro faixas de umidade em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico no Estado de Mato Grosso.

Camadas (m)	Faixas de Umidade ( $\text{m}^3\cdot\text{m}^{-3}$ )				MÉDIA
	0,2703 a 0,3177 (F1)	0,2545 a 0,2702 (F2)	0,2355 a 0,2544 (F3)	0,1883 a 0,2354 (F4)	
	$\text{kg}\cdot\text{dm}^{-3}$				
0,05 a 0,10 (I)	1,29	1,30	1,30	1,29	1,29 B
0,15 a 0,20 (II)	1,37	1,39	1,38	1,38	1,38 A
MÉDIA	1,33 a	1,35 a	1,34 a	1,33 a	1,34

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na vertical e minúscula na horizontal, não diferem pelo teste Tukey ( $P < 0,05$ ).



**Figura 19.** Valores médios da densidade do solo ( $D_s$ ) para as camadas de 0,05 a 0,10 m e 0,15 a 0,20 m nas quatro faixas de umidade em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico no Estado de Mato Grosso.

Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ) entre as camadas.

Analisando os valores da  $D_s$  (Tabela 5), depreende-se que este atributo físico do solo representa o motivo pelo qual a RMSP obtida pelo PI e PEA na camada I é inferior a RMSP na camada II nas mesmas faixas de umidade. É possível que o fator que mais influenciou essa condição seja o manejo do solo através de constantes mobilizações com grades pesadas aradoras, conforme informações obtidas da área, constante da metodologia. Resultados semelhantes foram obtidos por Cunha et al. (2002), em solo de

textura argilosa (47% de argila), concluíram que a RMSD tende a aumentar com o incremento da densidade do solo.

Resultados diferentes foram obtidos por Menossi (2004) em LATOSSOLO VERMELHO Distroférico com textura muito argilosa, o qual obteve densidades de  $1,26 \text{ kg.dm}^{-3}$  e  $1,22 \text{ kg.dm}^{-3}$ , respectivamente, nas camadas de 0 a 0,10 m e 0,10 a 0,25 m. Stone e Silveira (1999) também encontraram maior valor de Ds na camada 0 a 0,10 m ( $1,62 \text{ kg.dm}^{-3}$ ) em relação a camada de 0,10 a 0,20 m ( $1,14 \text{ kg.dm}^{-3}$ ) em Latossolo Vermelho-Escuro (LATOSSOLO VERMELHO).

O aumento da densidade do solo (Ds) é decorrente da compactação do solo gerando a diminuição dos macroporos (Secco et al., 2004), devido o excesso de tráfego de máquinas.

#### 4.7 Macroporosidade

Não houve diferença significativa nos valores médios da macroporosidade (Ma) nas quatro faixas de umidade estudadas, com valores variando de 9,24 a 10,14% (Tabela 6).

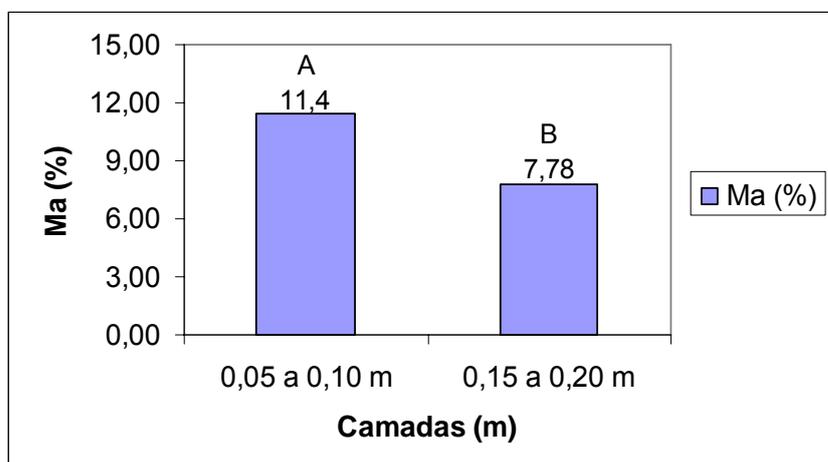
**TABELA 6.** Valores médios de macroporos (%) do Solo nas camadas de 0,05 a 0,10 m e 0,15 a 0,20 m nas quatro faixas de umidade em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico no Estado de Mato Grosso.

Camadas (m)	Faixas de Umidade ( $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ )				MÉDIA
	0,2703 a 0,3177 (F1)	0,2545 a 0,2702 (F2)	0,2355 a 0,2544 (F3)	0,1883 a 0,2354 (F4)	
	%				
0,05 a 0,10 (I)	10,66	11,57	11,29	12,09	11,40 A
0,15 a 0,20 (II)	7,82	7,57	7,57	8,18	7,78 B
MÉDIA	9,24 a	9,57 a	9,43 a	10,14 a	9,59

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na vertical e minúscula na horizontal, não diferem pelo teste Tukey ( $P < 0,05$ ).

Observou-se maior valor de macroporosidade na camada de 0,05 a 0,10 m (11,40%), enquanto que na camada 0,15 a 0,20 m houve decréscimo da macroporosidade (7,78%) (Figura 20). Essa diminuição contribuiu para redução da porosidade total, ocasionado pelo aumento da Ds decorrente da

desagregação dos agregados na camada superficial devido ao constante revolvimento do solo por grades, favorecimento a deposição das menores partículas nas camadas subsuperficiais.



**Figura 20.** Valores médios da macroporosidade (Ma) para as camadas de 0,05 a 0,10 m e 0,15 a 0,20 m nas quatro faixas de umidade, em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico no Estado de Mato Grosso.

Letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ) entre as camadas.

Esses valores estão de acordo com Torres e Saraiva (1999) que verificaram que solos argilosos, em condições naturais, possuem boa macroporosidade, oscilando de 15 a 25%, porém em condições de cultivo, os macroporos podem reduzir acentuadamente. Neiro (2002), estudando LATOSSOLO VERMELHO Distroférico, com semeadura direta em sistemas de rotação e sucessão de culturas, encontrou valores de 6% e 9% de macroporos, respectivamente. Constatação idêntica foi efetuada por Cintra et al. (1983) em Latossolo Roxo Distrófico (LATOSSOLO VERMELHO) na camada 0,15 a 0,30 m, como também Araújo et al. (2004) encontraram em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico preparado pelo sistema convencional por cerca de 20 (vinte) anos, na camada de 0 a 0,20 m, macroporosidade de 6%.

A diminuição da macroporosidade reflete na redução dos poros responsáveis pelas trocas gasosas entre o solo e a atmosfera, representando a redução na difusão do oxigênio no solo para as raízes. O

valor de porosidade de aeração mínimo de 10% tem sido utilizado de forma generalizada como limitante ao crescimento de raízes devido à baixa difusão do oxigênio no solo (Silva et al., 2002).

#### **4.8 Microporosidade**

Não houve diferença significativa nos valores médios de microporosidade (Mi) nas quatro faixas de umidade e nas duas profundidades (camadas) estudadas. O valor médio da microporosidade foi de 36,13%

Comportamento semelhante foi observado por Tormena et al. (2004) em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, que não encontraram diferença significativa ( $p < 0,05$ ) para microporosidade nas camadas I e II. Spera (2004), trabalhando em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, encontrou comportamento semelhante da microporosidade entre diversos sistemas de produção, exceto no sistema alfafa para feno, onde ocorreu diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as camadas 0 a 0,05 m e 0,10 a 0,15 m, com valores de Mi de 38,80 para 40,70%, respectivamente.

O aumento da microporosidade do solo em detrimento da redução da macroporosidade, ou seja, redução no espaço de aeração em decorrência da compactação implica no suprimento de oxigênio, disponibilidade de nutrientes, e elementos em níveis tóxicos para as plantas e microorganismos (Brady, 1979). Borges et al. (1999) também observaram o mesmo comportamento quando ocorre compactação do solo, provocando redução linear da porosidade total e do espaço de aeração.

#### **4.9 Porosidade Total**

Não houve diferença significativa nos valores médios da porosidade total (Pt) nas quatro faixas de umidade estudadas, com valores variando de 45,54 a 45,96% (Tabela 7).

Verificou-se maior valor de porosidade total na profundidade de 0,05 a 0,10 m (47,60%) (Tabela 7). Esses valores contribuíram para o aumento da RMSF na camada II, avaliado com o PI e PEA, indicando que ocorreu tráfego constante de conjuntos motomecanizados provocando redução da

porosidade total devido à redução dos macroporos e aumento da densidade do solo, conforme citado anteriormente.

**TABELA 7.** Médias dos dados de porosidade total (%) nas camadas de 0,05 a 0,10 m e 0,15 a 0,20 m nas quatro faixas de umidade em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico no Estado de Mato Grosso.

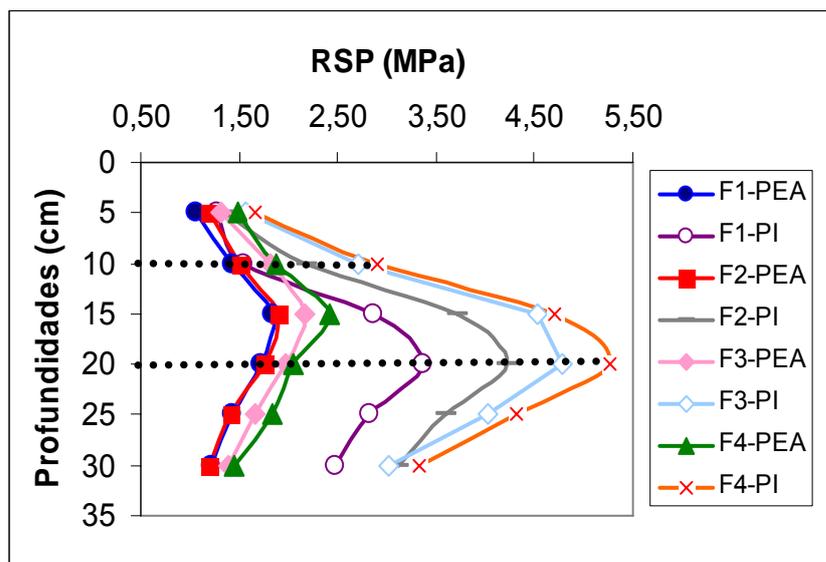
Camada (m)	Faixas de Umidade ( $m^3 \cdot m^{-3}$ )				MÉDIA
	0,2703 a 0,3177 (F1)	0,2545 a 0,2702 (F2)	0,2355 a 0,2544 (F3)	0,1883 a 0,2354 (F4)	
	%				
0,05 a 0,10 (I)	47,57	47,56	47,31	47,98	47,60 A
0,15 a 0,20 (II)	44,15	43,52	43,84	43,94	43,86 B
MÉDIA	45,86 a	45,54 a	45,58 a	45,96 a	45,73

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na vertical e minúscula na horizontal, não diferem pelo teste Tukey ( $P < 0,05$ ).

O efeito imediato provocado pela maquinaria agrícola pode contribuir tanto para o aumento quanto para a diminuição da porosidade de um solo (Maia, 1999). Souza et al. (2005) trabalhando em LATOSSOLO VERMELHO Amarelo Distrófico típico, cultivados com cana de açúcar, constataram que a incorporação da palhada propiciou aumento da macroporosidade e, conseqüentemente, da porosidade total, gerando assim, diminuição da RMSP. Resultados semelhantes foram obtidos por Bordin et al. (2005), estudando desenvolvimento de mudas de aceroleira em LATOSSOLO VERMELHO Distroférico, que constataram diminuição linear da RMSP a medida que ocorria aumento da porosidade total.

#### 4.10 Curvas de Resistência Mecânica do Solo a Penetração

Na profundidade de 0,05 m pode-se constatar na Figura 21 que os valores de RMSP estão entre 1,28 e 1,67 MPa (PI) e de 1,05 a 1,49 MPa (PEA). Provavelmente o efeito da mobilização do solo tenha contribuído para minimização dos valores de resistência mecânica nas quatro faixas de umidade estudadas.



**Figura 21.** Curvas de resistência mecânica do solo avaliada pelo PI e PEA na camada de 0,0 a 0,30 m nas quatro faixas de umidade. Onde: F1(0,2703 a 0,3177  $\text{m}^3\cdot\text{m}^{-3}$ ); F2 (0,2545 a 0,2702  $\text{m}^3\cdot\text{m}^{-3}$ ); F3 (0,2355 a 0,2544  $\text{m}^3\cdot\text{m}^{-3}$ ), e F4 (0,1883 a 0,2354  $\text{m}^3\cdot\text{m}^{-3}$ ) em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico no Estado de Mato Grosso.

Sequencialmente, há uma tendência de aumento da resistência mecânica do solo a penetração a partir de 0,10 m nos valores obtidos com o penetrômetro de impacto (1,54 a 2,91 MPa) gerando amplitude consideráveis quando se compara aos dados obtidos com o penetrômetro eletrônico automático (1,42 a 1,87 MPa). Valores superiores a 2,50 MPa, nessa profundidade, só foram encontrados na faixa 3 (2,71 MPa) e faixa 4 (2,91 MPa).

Valores superiores a 2,50 MPa foram encontrados em todas as profundidades, a partir de 0,15 m, nas quatro faixas de umidade, somente quando coletados pelo PI, variando de 2,87 a 4,71 MPa. O aumento da RMSP em subsuperfície deve ocorrer em função da acomodação do solo e também pelo efeito da flambagem da haste conforme observado por Torres e Saraiva (1999) e Bianchini et al. (2005).

Observa-se na Figura 21 que, em todas as faixas de umidade, os valores da RMSP avaliada pelo PEA começam a decrescer a partir da profundidade de 0,15 m, enquanto que os valores de RMSP PI diminuem a partir de 0,20 m. Comportamento semelhante foi obtido por Bianchini et al.

(2005), cujo decréscimo da RMSP começou, aproximadamente, aos 0,12 m e 0,17 m, para os penetrômetros de impacto e o eletrônico, respectivamente.

As curvas de RMSP apresentaram comportamentos semelhantes aos obtidos com PI, PEA e outros penetrômetros eletrônicos: Camargo e Alleoni (1997), Stone e Silveira (1999), Neiro (2002) e Ribon et al. (2003).

## 5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos mostraram que os dois equipamentos utilizados comportam-se diferentemente quanto aos valores de resistência mecânica do solo a penetração em função do teor de água e da densidade do solo. Diante dos dados obtidos pode-se concluir que:

1. A umidade apresentou alta correlação com os equipamentos utilizados e sua diminuição influi diretamente no aumento da resistência mecânica do solo a penetração;
2. Existem diferenças significativas nos valores de resistência quando medidos com dois tipos diferentes de penetrômetros: eletrônico de velocidade constante e de impacto;
3. O penetrômetro de impacto foi o equipamento que apresentou melhor relação com a densidade do solo, obtendo correlação positiva ( $r = 0,89$ ) e altamente significativa;
4. A resistência mecânica do solo a penetração, apresentou maiores valores na camada de 0,15 a 0,20 m, coincidindo com a camada mais afetada pelo uso contínuo das máquinas e implementos, devido às pressões dos rodados e implementos com aumento da densidade do solo;
5. A resistência mecânica do solo a penetração independente do teor de água do solo é inversamente proporcional a macroporosidade e porosidade total.

## **6 CONSIDERAÇÃO**

Fazem-se necessários estudos para que sejam definidos valores de RMSP a serem adotados pelos diferentes equipamentos utilizados na penetrometria, tendo em vista que os valores obtidos pelo PI e PEA, nas mesmas condições de umidade e densidade, diferiram muito, sendo que essa diferença pode implicar em tomadas de decisão errôneas, ao se adotar as classes de resistência mecânica do solo a penetração das raízes.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, O. de A. **Perdas de solo e água, agregação e resistência à penetração, em função dos sistemas de preparo do solo, num LATOSSOLO VERMELHO-escuro distrófico, textura média, fase cerrado, no município de Campo Verde, Estado de Mato Grosso.** 1997. 116 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá-MT, 1997.

ARAUJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. propriedades físicas de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 337-345, 2004.

ARSHAD, M. A.; LOWERY, B.; GOSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J. W.; JONES, A.J.(Eds). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soils Sci. Soc. of America, 1996. cap. 9, p. 123-141. (SSSA Special publication).

ASAE – American Society of Agricultural Engineers. **S313.3**. St. Joseph: Agricultural Engineers Yearbook of Standards, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 7182/86. **Solo: ensaio de compactação**. Rio de Janeiro, 1986. 10 p.

AZEVEDO, C. A.; BONUMÁ, A. S. Partículas coloidais, dispersão e agregação em latossolos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 2, p. 609-617, 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v34n2/a46v34n2.pdf>>. Acesso em: 04 set.2004.

AZEVEDO, E. C. **Uso da geoestatística e de recursos de geoprocessamento no diagnóstico da degradação de um solo argiloso sob pastagem no estado de Mato Grosso.** 2004. 158 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola na área de concentração em Água e Solo) -

Faculdade de Engenharia Agrícola - Universidade Estadual de Campinas-SP, 2004.

BANZATO, D. A.; KRONKA, S. do N. **Experimentação Agrícola**. Jaboticabal: FUNEP, 1992, 247 p.

BERNARDO, S.; SOARES A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 7. ed. Viçosa: UFV, 2005. 611 p.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Efeito do conteúdo de água e da compactação do solo na produção de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 7, p. 849-856, 2003.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SOUZA, Z. M.; SILVA, L. M. Utilização dos penetrômetros de impacto e de anel dinamométrico em Latossolos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 22, n. 2, p. 191-199, 2002.

BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A. Resistência à penetração e permeabilidade de LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico sob sistemas de manejo na região de cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 167-177, 2001.

BEUTLER, A.; CENTURION, J. F. Resistência à penetração em latossolos: valor limitante à produtividade de arroz de sequeiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, p. 1793-1800, 2004.

BIANCHINI, A. MAIA, J. C. M.; MAGALHAES, P. S. G.; CAPELLI, N.; UMEZU, C. K. Penetrógrafo eletrônico automático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, p. 332-336, 2002.

BIANCHINI, A.; CUNHA, C. A.; MAIA, J. C. S. Comparação da resistência do solo a penetração obtida por meio de penetrômetro eletrônico e impacto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 34., Canoas, 2005. **Anais...** Canoas: COMBEA, 2005.

BOGNOLA, I. A.; MAIA, C. M. B. de F.; DEDECEK, R. A., et al., **Estabilidade de agregados e DMG determinados por via úmida e via seca, em LATOSSOLO VERMELHO Escuro sob plantios de E. dunnii**. Campinas: EMBRAPA-NMA, (Comunicado Técnico, 4). Campinas, 1998.

Disponível em: <[http://www.cnpem.embrapa.br/publica/com\\_tec4.html](http://www.cnpem.embrapa.br/publica/com_tec4.html)>.  
Acesso em: 03 jan.2004.

BORDIN, I.; NEVES, C. S. V. J.; AZEVEDO, M. C. B. de.; VIDAL, L. H. I. Desenvolvimento de mudas de aceroleira propagadas por estacas e sementes em solo compactado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 3, p. 530-536, 2005.

BORGES, E. N.; LOMBARDI NETO, F.; CORRÊA, G. F.; BORGES, E. V. S. Alterações físicas introduzidas por diferentes níveis de compactação em LATOSSOLO VERMELHO-Escuro textura média. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 19, p. 1663-1667, 1999.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedades do solo**. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1979. 647 p.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedades do solo**. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 898 p.

CAMARGO, O. A. de.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba, 1997. 132 p.

CANARACHE, A. Penetr – a generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. **Soil Tillage and Research**, v.16, p. 51-70, 1990.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 3. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científico, 1977. 242 p.

CARVALHO JUNIOR, I. A.; FONTES, L. E. F.; COSTA, L. M. Modificações causadas pelo uso e a formação de camadas compactadas e/ou adensadas, em um LATOSSOLO VERMELHO Escuro textura média na região do cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 3, , p. 505-514, 1998.

CARVALHO, R.; GOEDERT, W.; ARMANDO, M. S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1153-1155, 2004

CINTRA, F. L. D.; MIELNICZUCK, J.;SCOPEL, I. Caracterização do impedimento mecânico em um Latossolo Roxo do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 7, p. 323-327, 1983.

CORRÊA, J.C. Efeitos de sistemas de cultivo na estabilidade de agregados de um LATOSSOLO VERMELHO-amarelo em Querência-MT. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília. v. 37, n. 2, p. 203-209, fev.2002. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v37n2/9055.pdf>>. Acesso em: 29 ago.2004.

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; et al. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetado pelos sistemas de plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 527-535, 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v27n3/16670.pdf>>. Acesso em: 22 ago. 2004.

COUTO, E. G. **Resistência do solo a penetração**. Disponível em: <<http://www.solos.ufmt.br/docs/solos1/resistencia.pdf>>. Acesso em 11 out. 2005.

CUNHA, J. P. A. R.; VIEIRA, L. B.; MAGALHAES, A. C. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes densidades e teores de água. **Engenharia na Agricultura**, v. 10, n. 1-4, Jan./Dez., 2002

DEXTER, A.R. Advances in characterization of soil structure. **Soil Tillage and Research**, v. 11, p. 199-238, 1988.

DIAS FILHO, M. B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2003. 152 p.

DIAS JUNIOR, M. S.; MIRANDA, E. E. V. de. Comportamento da curva de compactação de cinco solos da região de lavras (MG). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 2, p. 337-346, abr./jun., 2000.

DIAS JUNIOR, M. S.; SILVA, A. R.; FONSECA, S.; LEITE, F. P. método alternativo de avaliação da pressão de preconsolidação por meio de um penetrômetro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 805-810, 2004.

E-ACADEMY. **MINITAB statistical software**. Version 13.0 for Windows. [S.l.]: E-Academy, 2000. 1 CD-ROM.

EHLERS, W.; KÖPKE, U.; HESSE F.; BÖHM, W. Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. **Soil Tillage and Research**, Amsterdam, v. 3, n. 3, p. 261-275, 1983.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos. 1997. 212 p.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solo**. Brasília, 1999. 230 p. Disponível em: <<http://www.solos.ufmt.br/docs/solos3/sbcs99III.pdf>>. Acesso em: 09 set.2004.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 2005. 388 p. Disponível em <<http://www.solos.ufmt.br/docs/solostrop/SiBCS-2005.pdf>>. Acesso em 03 set. 2005.

ETANA, A.; COMIA, R.A.; HAKANSSON, I. Effects of uniaxial stress on the physical properties of four Swedish soils. **Soil and Tillage Research**, v. 44, n. 1, p.13-21, 1997.

FAMATO. **Indicadores da agropecuária**. Disponível em: <<http://www.famato.org.br/docs/pubindicadores02-2004.pdf>>. Acesso em: 27 ago.2004.

FAURE, A. A new conception of the plastic and liquid limits of clay. **Soil and Tillage Research**, v. 1, n. 2, p. 97-105, 1981.

FERNANDES, H. C.; LANÇAS, K. P. Determinação dos níveis de compactação do solo causado pelo tráfego de um forwarder em um Latossolo Roxo da região de Botucatu/SP. **Energia na Agricultura**, Viçosa, v.12, n. 1, 5360, 1997.

FERREIRA, M. M. **Física do solo**. Lavras: FAEPE, 1986, 63 p.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da região do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 513-524, 1999.

FLOWERS, M. D.; LAL, R. Axle load and tillage effects on soil physical properties and soybean grain yield on a mollic ochraqualf in northwest Ohio. **Soil Tillage and Research**, v. 48, p. 21-35, 1998.

GENRO JUNIOR, S. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Variabilidade temporal da resistência a penetração de um Latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 477-484, 2004.

GOEDERT, W. J. **Solos dos Cerrados: tecnologias e estratégias de manejo**. São Paulo: Ed. Nobel, 1986. 420 p.

HAMZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Soil compaction in cropping systems A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil and Tillage Research**, v. 82, Issue 2 , p. 121-145, 2005.

IAIA, A. M. **Avaliação do efeito da mecanização e transporte na compactação de dois tipos de solo cultivados com cana de açúcar**. 2003. 74 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá-MT, 2003.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P. da.; TORMENA, C. A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 1493-1500, 2000.

JOAQUIM JUNIOR, G. O. **Desempenho do reflectômetro no domínio do tempo na detecção de variações de umidade do solo**. 2003. 81p. Tese (Dissertação em Física do Ambiente Agrícola) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba-SP, 2003.

JORAJURIA, D.; DRAGHI, L. Sobrecompactación del suelo agrícola. Parte I: influência diferencial del peso y del número de pasadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 445-452, 2000.

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

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L.; SILVA, A. P. Resistência mecânica do solo a penetração sob diferentes condições de densidade e teor de água. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 18, n. 2, p. 45-54, 1998.

LANÇAS, K. P. CASTRO NETO, P.; NAGAOKA, A. K. ; GUERRA, S.P.S. Índice de cone e mapas de isocompactação do solo agrícola utilizando um penetrômetro hidráulico-eletrônico e um sistema de posicionamento global

diferencial (DGPS).; SIMPÓSIO SOBRE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2., 1999; Piracicaba, **Anais...**, Piracicaba: UNESP/Botucatu, 1999. p. 113-123.

LANÇAS, K. P.; SANTOS, C. A. dos. Penetrômetro hidráulico equipado com DGPS para avaliação da compactação do solo. **Ingeniería Rural y Mecanización Agraria em el ámbito Latinoamericano**. La Plata. 1998. p. 570-576.

LAURANI, R. A.; RALISCH, R.; TAVARES FILHO, J.; et al. Distribuição de poros de um LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico na fase de implantação de um sistema de plantio direto. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 347-354, 2004.

LONGO, R. M.; ESPÍNDOLA, C. R.; RIBEIRO, A. I. Modificações na estabilidade de agregados no solo decorrentes da introdução de pastagens em áreas de cerrado e floresta amazônica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 3, p. 276-280, 1999.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. **Solos do Cerrado: manejo da fertilidade para produção agropecuária**. São Paulo: ANDA, 2º ed., 1994. 62 p.

MACEDO, J. **Os solos da região dos Cerrados**: In: ALVARES, V. H., FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. (Ed.). O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa, p. 135-155, 1996.

MAIA, J. C. S. **Determinação de esquemas de amostragem para avaliação de propriedades físicas do solo sob diferentes sistemas de preparo**. 1999. 158 f. Tese (Doutorado em Máquinas Agrícolas) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 1999.

MANTOVANI, E.C. Compactação do solo. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 13, n. 147, p. 52-55, 1987.

MARTINS, S. G.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M. Avaliação de atributos físicos de um LATOSSOLO VERMELHO Distroférico sob diferentes povoamentos florestais. **Cerne**, Lavras, v. 8, n. 1, p. 32-41, 2002.

MATO GROSSO (Estado), Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral. **Anuário estatístico 2002**. Cuiabá, 2003. Disponível

em: <<http://www.anu.seplan.mt.gov.br/indexanua2002.htm>> e  
<http://www.zsee.seplan.mt.gov.br/anuario2003/><. Acesso em: 26 ago.2004.

MATO GROSSO (Estado), Secretaria de Estado de Planejamento.  
PRODEAGRO. **Guia para identificação dos principais solos do Estado de Mato Grosso**. Cuiabá: PNUD, PRODEAGRO, 1995. 118 p.

MENDES, J. F. Características químicas e físicas de alguns solos sob cerrados. REUNIÃO BRASILEIRA DOS CERRADOS, 2, 1967, Sete Lagoas. **Anais...** Sete Lagoas: Instituto de Pesquisas e Experimentação do Centro Oeste, 1967, p. 51-62.

MENOSSEI, J. C. **Variação temporal da umidade e resistência a penetração em LATOSSOLO VERMELHO distroférico e Nitossolo Vermelho Eutroférico**. 2004. 85 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá - PR, 2004

MERCANTE, M. A.; URIBE-OPAZO, M. A.; SOUZA. Variabilidade espacial e temporal da resistência mecânica do solo a penetração em áreas com e sem manejo químico localizado. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 27, p. 1149-1159, 2003.

MIELNICZUK, J. et al. Desenvolvimento de raízes em solos compactados. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v.38, p.42-43, 1985.

MONIZ, A. C. **Elementos de pedologia**. São Paulo, ed. Polígono, 1981. 341 p.

NEIRO, E. S. **Propriedades físicas e químicas de um LATOSSOLO VERMELHO Distroférico, com rotação e sucessão de culturas, sob semeadura direta**. 2002. 86 f. Dissertação (Produção Vegetal) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá-PR, 2002.

OKABE, W. **Compactação do Solo em SPD será discutido em Tangará da Serra**. Entrevista concedida no 8º Encontro de Plantio Direto no Cerrado. (13/06/2005). Tangará da Serra, 2005. Disponível em:  
<http://www.diarionews.com.br/exibenoticia.php?id=19092>. Acesso em 20 set. 2005.

OLIVEIRA, G.C.; DIAS JUNIOR, M. S.; RESCK, D.V. S.; CURTI, N.  
Caracterização química e físico-hídrica de um LATOSSOLO VERMELHO

após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 327-336, 2004a.

OLIVEIRA, O. J. de. **Estresse hídrico e características agronômicas de materiais superprecoces de milho**. 2000. 89 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba-SP, 2000.

OLIVEIRA, O. J.; SIQUEIRA, J. L.; DOS SANTOS, V. S. Classificação climática da região de São Vicente da Serra segundo critérios de W. W. Köppen e critérios de W.C.Thornthwaite. **Boletim Técnico Bimestral**, CEFET, Cuiabá, v. 1, n. 1, p. 1-16, jul./ago. 2004b.

ORTOLANI, A.F. Avaliação dos efeitos de diferentes métodos de cultivo sobre o desenvolvimento das culturas e do comportamento de parâmetros físicos do solo. CICLO DE PALESTRAS SOBRE MECANIZAÇÃO CONSERVACIONISTA, 2., 1989, Campinas. **Anais...** Campinas: UNICAMP, 1989.

PASCHOALIN FILHO, J. A.; CARVALHO, D. Estudo da resistência de um solo residual compactado em três diferentes umidades. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador, **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002.

PEDROTTI, A.; PAULETTO, E. A.; CRESTANA, S. et al. Resistência mecânica a penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 521-529, 2001.

PEREIRA, J. P.; BENEZ. S. H.; SILVA, S. de L.; RICIERI, R. P. Efeito do teor de água e da pressão aplicada na compactação do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 22, p. 220-228, 2002a.

PEREIRA, J. P.; SIQUEIRA, J.A. C.; OPAZO, M. A U.; SILVA, S. de L. Resistência do solo a penetração em função do sistema de cultivo e teor de água do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, p. 171-174, 2002b.

PIVELLO, V. R. **Ecosistemas: cerrado**. Disponível em: <http://www.mre.gov.br/cdbrasil/itamaraty/web/port/meioamb/ecossist/cerrado/index.htm> . Acesso em 05 set. 2005.

PRADO, R. M.; ROQUE, C. G.; SOUZA, Z. M. Sistemas de preparo e resistência a penetração e densidade de um LATOSSOLO VERMELHO

Eutrófico em cultivo intensivo e pousio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 12, p. 1795-1801, 2002.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990. 188 p.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera**. Barueri: Manole, 2004. 478 p.

REZENDE, A. V. **Importância das matas de galeria: manutenção e recuperação**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998. 168p.

RIBON, A. A.; CENTURION J. F., CENTURION, M. A. P. C., PEREIRA, G. T. Densidade e resistência a penetração de solos cultivados com seringueira sob diferentes manejos. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v. 25, n. 1, p. 13-17, 2003.

ROQUE, C. G.; CENTURION, J. F.; ALENCAR, G. V. et al. Comparação de dois penetrômetros na avaliação da resistência a penetração de um LATOSSOLO VERMELHO sob diferentes usos. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v. 25, n. 1, p. 53-57, 2003.

SANTOS, C. R. dos. **Uso de tensiômetros na irrigação do coqueiro**. Petrolina: EMBRAPA Semi-Árido, Instruções Técnicas 51, 2001.

SECCO, D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; DA ROS, C. O. Produtividade de soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 797-804, 2004.

SEIXAS, F.; OLIVEIRA JUNIOR, E. D. Compactação do solo devido ao tráfego de máquinas de colheita de madeira. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 60, p. 73-87, dez. 2001. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr60/cap06.pdf>>. Acesso em 05 set.2004.

SGUAREZI, J. **Mapeamento da fertilidade de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico Típico, sob plantio direto, para um programa de agricultura de precisão em Mato Grosso**. 2002. 107p. Tese (Mestrado). Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

SILVA, A. P. da.; IMHOFF, S. del C.; TORMENA, C. A.; LEÃO, T. P. Avaliação da compactação de solos florestais. IN: GONÇALVES, J. L. de M.; STAPE, J. L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. p. 352-372.

SILVA, A. P. da.; LIBARDI, P. L.; CAMARGO, O. A. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 10, p. 91-95, 1986.

SILVA, G. J. **Desenvolvimento de plantas de soja, milho, algodão e Brachiaria brizantha, submetidas a quatro graus de compactação de um LATOSSOLO VERMELHO-Distrófico**. 2004. 122 f. Dissertação (Agricultura Tropical) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá-MT, 2004.

SILVA, M. A. S. da.; MAFRA, A. L.; ALBUQUERQUE, J. A. et al. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um ARGISSOLO Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, p. 544-552, 2005.

SILVA, G. da.; CAPPELLI, N. L.; UEMEZU, C. K. Métodos probabilístico e determinístico para diagnóstico da necessidade de subsolagem de solos agrícolas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 130-141, 2004.

SILVEIRA, P. M. da.; STONE, L. F. **Manejo da irrigação do feijoeiro: uso do tensiômetro e avaliação do desempenho do pivô central**. Brasília: EMBRAPA, CNPAF, 1994. 46 p.

SOIL SURVEY STAFF. **Soil survey manual**. Washington: USDA-SCS. 1993. 437 p. (Handbook, 18).

SOIL SURVEY STAFF. **Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil survey**. Washington: U. S. Department of Agriculture, 1975. 754 p. (Handbook, 436).

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**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p.18-23, 2003.

SOUZA, Z. M.; BEUTLER, A. N.; MELO, V. P.; MELO, W. J. de. Estabilidade de agregados e resistência a penetração em Latossolos adubados por cinco

anos com bioossólido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 117-123, 2005.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 937-944, 2004.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 533-542, 2004

STOLF, R. Teoria e teste experimental de formulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 15, p. 229-235, 1991.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V. L. Recomendação para uso do penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar – Stolf. **STAB**, Piracicaba, v. 1, n. 3, p. 18-23, 1983.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. da. Efeitos do sistema de preparo na compactação do solo, disponibilidade hídrica e comportamento do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 1, p. 83-91, 1999.

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. **Ciência rural**, Santa Maria, v. 34, n. 3, p. 755-760, 2004.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C.; GUIMARÃES, M.F.; FONSECA, I.C.B. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 725-730, 2001.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic mater and water-stable aggregates in soils. **J. Soil. Sci.**, Madison, v. 33, p. 141-163, 1982.

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S. da.; GONÇALVES, C. A. Densidade, porosidade e resistência a penetração em Latossolo cultivado

sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 59, p. 795-801, 2002.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, v. 29, p. 333-339, 1996.

TORMENA, C. A.; VIDIGAL FILHO, P. S.; GONÇALVES, A. C. A.; et al. Influência de diferentes sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 65-71, 2004.

TORRES, E.; SARAIVA, O.F. **Camadas de impedimento mecânico do solo em sistemas agrícolas com a soja**. Londrina: Embrapa Soja, 1999. 59p. (Embrapa Soja, Circular Técnica, 23).

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA - UFV. **SAEG: Sistema de análises estatísticas e genéticas**. Versão 7.1. Viçosa, MG: 1997. 150p.

WATANABE, S. H.; TORMENA, C. A.; ARAUJO, M. A.; et al. Propriedades físicas de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico influenciadas por sistemas de preparo do solo utilizados para implantação da cultura da mandioca. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.24, n. 5, p. 1255-1264, 2002.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)