

# INFLUÊNCIA DO SISTEMA DE PREPARO E MANEJO DE UM LATOSSOLO VERMELHO NAS SUAS PROPRIEDADES FÍSICO-HÍDRICAS

Gerson Araújo de MEDEIROS<sup>1</sup>, Luiz Antonio DANIEL<sup>1</sup>,  
José Ricardo de Freitas LUCARELLI<sup>2</sup>, Fabio Augusto Gomes Vieira REIS<sup>3</sup>

- (1) Faculdade de Tecnologia de Indaiatuba / FATECID, Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza / CEETPS.  
Rua Dom Pedro I, n. 65 – Bairro Cidade Nova. CEP 13334-100. Indaiatuba, SP.  
Endereços eletrônicos: gerson@fatecindaiatuba.edu.br; daniel51@terra.com.br
- (2) Faculdade de Engenharia Agrícola / FEAGRI, Universidade Estadual de Campinas / UNICAMP. Cidade Universitária  
Zeferino Vaz. Caixa Postal 6011. CEP 13083-875. Campinas, SP. Endereço eletrônico: luca@agr.unicamp.br
- (3) Universidade Estadual Paulista, UNESP/Campus Rio Claro. Avenida 24-A, 1515 – Bela Vista. CEP 13506-900.  
Ecogeologia Consultoria Ambiental. Rua 8-B, n. 842 – Vila Indaiá. CEP 13506-743.  
Rio Claro, SP. Endereço eletrônico: fabio@ecogeologia.com.br

## Introdução

Descrição da Área do Experimento e seu Histórico

Material e Métodos

Levantamento dos Parâmetros Físico-Hídricos do Solo

Curva de Retenção, Porosidade Total, Macro e Microporosidade

Análise Estatística

Resultados e Discussão

Densidade do Solo e de Partículas, Porosidade Total

Curva de Retenção de Água no Solo e Qualidade dos Poros

Condutividade Hidráulica Saturada e Infiltração Básica

Conclusão

Agradecimentos

Referências Bibliográficas

**RESUMO** – O uso intensivo do solo para fins agrícolas provoca uma série de alterações nos seus atributos, o que pode levar a sua degradação. Neste contexto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a influência do sistema de preparo e do manejo do solo sobre as suas características físicas e hídricas. As avaliações foram realizadas em julho de 1999, em parcelas experimentais de um Latossolo vermelho, na Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, em Campinas – SP. Essas parcelas vinham sendo manejadas com os seguintes tratamentos, ao longo de um período de oito anos: o plantio direto, o sistema escarificador, o sistema convencional e o sistema de rotação. Os parâmetros físicos e hídricos do solo avaliados foram: a densidade, a densidade de partículas, a porosidade total, a macroporosidade, a microporosidade, a curva de retenção de água no solo, a condutividade hidráulica saturada e a infiltração básica. Desses parâmetros aqueles que apresentaram diferença significativa entre os tratamentos foram a densidade, a infiltração básica, a porosidade total, a macroporosidade e a microporosidade. Os sistemas conservacionistas escarificador e o plantio direto apresentaram os maiores valores de densidade, contudo foram os tratamentos nos quais se observaram os maiores valores de infiltração básica.

**Palavras-chave:** plantio direto, sistema convencional, conservação do solo.

**ABSTRACT** – G.A. de Medeiros, L.A. Daniel, J.R. de F. Lucarelli, F.A.G.V. Reis – Influence of the soil tillage and management in a Latossolo vermelho on its physical and hydric characteristics. The intensive use of the land for agricultural propose causes a series of modifications in attributes, which can take to soil degradation. In this context, the main goal of this research was to evaluate the influence of the soil tillage systems and management on its physical and hydric characteristics. The evaluations were carried out in July of 1999, at experimental plots of a Latossolo vermelho, a clay oxisoil, in the Faculdade de Engenharia Agrícola of the UNICAMP, at the county of Campinas, state of São Paulo. These plots were managed with the following treatments, along a period of eight years: no-tillage, chisel ploughing, conventional system with disk ploughing and revolving hoe. The evaluated physical and hydric parameters of the soil were: soil bulk density, particle density, total porosity, macro-porosity, micro-porosity, soil-water retention curve, hydraulic conductivity and basic infiltration. Significant differences were observed between the treatments on soil bulk density, infiltration, total porosity, macro-porosity and the micro-porosity. The chisel ploughing and no-tillage systems presented the higher values of soil bulk density; nevertheless in these conservationist systems were observed the higher values of basic infiltration.

**Keywords:** no-tillage system, conventional system, soil conservation.

## INTRODUÇÃO

A agricultura é um importante setor econômico responsável pela produção de alimentos, além de exercer um papel fundamental como geradora de emprego nas áreas rurais, o que contribui significati-

vamente para a estabilidade social e crescimento econômico de países com vocação agrícola, como o Brasil. Todavia, um dos desafios para a agricultura é a necessidade de aumentar a produção de alimentos de forma sustentável, para atender a uma demanda crescente, sob condições de escassez de recursos naturais. Esse aumento sustentável da produtividade, no aspecto ambiental, pode ser alcançado por meio do manejo melhorado das terras cultivadas, particularmente do manejo de nutrientes, conservação do solo e da água, e tecnologias relacionadas ao uso mais eficiente dos recursos naturais. Nesse contexto, o sistema de preparo é um dos fatores com maiores condições de provocar alterações nas características naturais do solo (Lucarelli, 1997).

As técnicas de preparo do solo podem ser enquadradas, basicamente, em dois grupos, a saber: (a) sistema reduzido ou conservacionista e (b) sistema convencional. O sistema convencional, que utiliza implementos como arado de discos, aiveca e grade pesada, seguido de gradagens leves, tem como característica principal um revolvimento de toda a área a ser cultivada, na qual o implemento atua com a incorporação total ou quase total do resíduo. Por outro lado, os sistemas de preparo reduzidos, como o escarificador, promovem o arrasto de hastes que cortam o solo quebrando superficialmente a sua estrutura, sem revolvê-lo intensamente, procurando não destruir os agregados e deixando maior quantidade de resíduo na superfície do terreno (Lucarelli, 1997).

A influência do sistema de preparo e manejo sobre uma série de características físicas do solo tem sido investigada por vários autores. Os parâmetros mais estudados são os que afetam a capacidade de arma-

zenamento de água no solo como a textura, a estrutura, a porosidade e a densidade.

Segundo Castro (1995), em áreas sob sistema de preparo convencional, realizado sempre a uma mesma profundidade, é comum formar-se gradativamente uma camada subsuperficial compactada. Essa camada pode ficar muito densa, o que acarretará diminuição da taxa de infiltração de água e dificuldade na penetração de raízes, reduzindo o desenvolvimento da planta, ou por falta ou por excesso de água, e por deficiência na nutrição.

A influência do sistema de preparo do solo sobre as características físicas de um Latossolo vermelho tem sido demonstrada em estudos realizados na Faculdade de Engenharia Agrícola (Feagri), na Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), desde 1990 (Medeiros et al., 2003). O uso contínuo de oito distintos sistemas levou a uma diferenciação na perda de sedimentos, formação da camada compactada e taxa de infiltração, estabilidade e distribuição dos agregados, matéria orgânica, nutrientes entre outras (Medeiros et al., 2003; Lucarelli, 1997).

Dentre os sistemas de preparo motomecanizado, os de preparo do solo alternado, escarificador e convencional com arado de disco tiveram valores próximos de perda de solos média, no período de 1990 a 1996, correspondendo a 0,585, 0,525 e 0,607 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> respectivamente. Já o sistema de rotação foi o que apresentou uma das maiores perdas médias de solos correspondendo a 1,5 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Lucarelli, 1997).

Portanto, o objetivo do presente trabalho foi o de avaliar o efeito dos sistemas de preparo do solo sobre as características físico-hídricas de um Latossolo vermelho, na cidade de Campinas (SP).

## DESCRIÇÃO DA ÁREA DO EXPERIMENTO E SEU HISTÓRICO

O trabalho foi desenvolvido no ano de 1999, na área de pesquisa em Conservação do Solo e Água da Faculdade de Engenharia Agrícola (Feagri), da UNICAMP, longitude 47° 03' 44" W, latitude 22° 49' 16" S e altitude média de 606 m, no município de Campinas, SP (Figura 1).

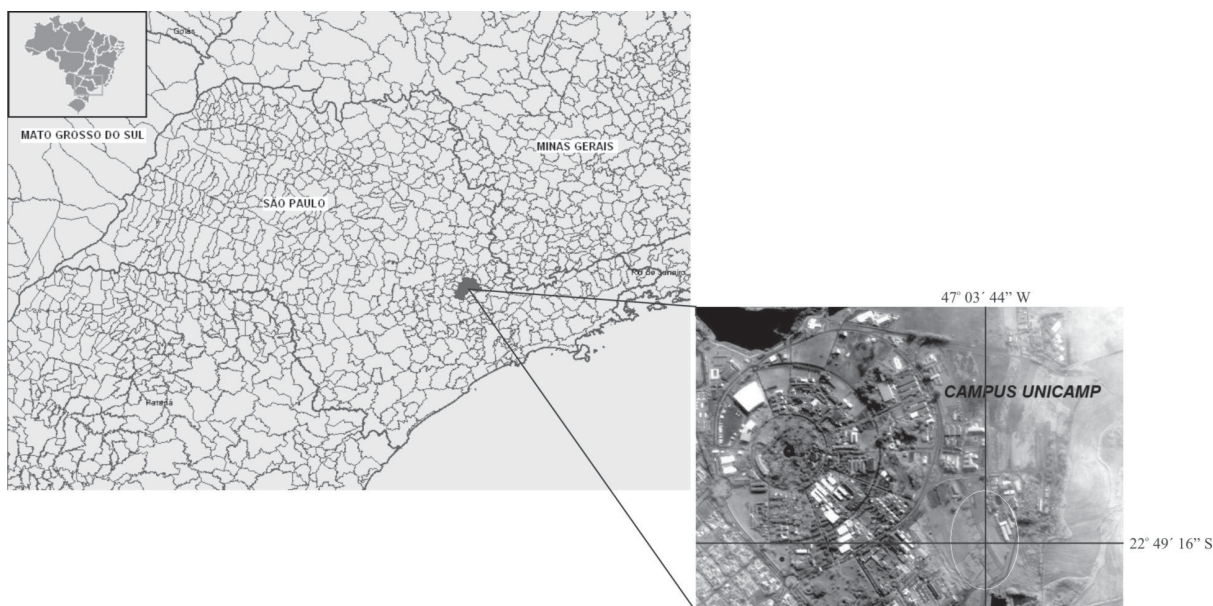
A região de Campinas está situada no limite da Bacia Sedimentar do Paraná e do Embasamento Cristalino que suporta a Serra da Mantiqueira. A Bacia Sedimentar é representada na região por rochas sedimentares do Subgrupo ou Formação Itararé ou Formação Aquidauana e ígneas intrusivas básicas da Formação Serra Geral. Já o Embasamento Cristalino é formado por migmatitos, granulitos e granitóides do Complexo Silvianópolis. Também ocorrem sedimentos cenozóicos aluvionares, associados às planícies do Ribeirão Anhumas e seus afluentes, constituídos por depósitos de areias, argilas e

cascalhos inconsolidados, além de depósitos coluvionares e de tálus próximos a relevos mais acidentados (DNPM, 1979; IPT, 1981; DAEE/UNESP, 1982).

No entorno da área estudada ocorrem as seguintes unidades geológicas:

a) *Complexo Silvianópolis*: A área estudada está sobre rochas e solo de alteração do Complexo Silvianópolis, o qual é constituído pelas seguintes subunidades, conforme DAEE/UNESP (1982):

- AsHM: Granulitos diversos e migmatitos de anatexia; granitos-gnaisses subordinadamente;
- AsM: Gnaisses embrechíticos com núcleos de granulitos e anateixitos não diferenciados contendo ocorrências restritas do Grupo Amparo;
- AsD: Rochas metadioríticas e metabásicas.



**FIGURA 1.** Localização da área de pesquisa em Conservação do Solo e Água da Faculdade de Engenharia Agrícola (Feagri), da UNICAMP. (Figura elaborada a partir do mapa do estado de São Paulo disponível em <<http://mapas.ibge.gov.br/divisao/viewer.htm>> e imagem do satélite Ikonos, de 2000, disponível em <<http://www.cpa.unicamp.br/imagens/satelites/unicamp4.jpg>>).

A área está, mais especificamente, na subunidade AsM, onde pode-se notar a presença de matações de gnaisses distribuídos na superfície.

b) *Formação Itararé*: A Formação ou Sub-Grupo Itararé constitui a unidade basal da Bacia Sedimentar do Paraná, sendo caracterizada por uma associação litológica envolvendo ritmitos, lamitos, diamictitos e arenitos finos a grosseiros, por vezes conglomeráticos, geralmente interdigitados entre si (UNESP, 1998; IPT, 1981). Esta unidade, por possuir grande variedade litológica, gera solos de diferentes propriedades geotécnicas. Os corpos arenosos desta unidade apresentam os principais depósitos de água subterrânea (aquíferos) da região (UNESP, 1998).

A formação geológica aflora a norte e oeste da área nas regiões de Paulínia, Arthur Nogueira, Cosmópolis, Nova Odessa e Sumaré, somente ocorrendo regionalmente, não estando relacionada diretamente ao local estudado.

c) *Rochas Básicas*: Caracterizadas por sills de diabásio, geralmente maciços e fraturados, ocorrendo a norte e oeste nas regiões de Paulínia e distrito de Barão Geraldo, com dois níveis de diabásio: um inferior, posicionado entre as rochas do Embasamento e do Subgrupo Itararé, e um superior, entre o Subgrupo Itararé e a Formação Aquidauana (UNESP, 1998).

O nível inferior é constituído de duas grandes áreas de ocorrência de diabásio, localizadas a oeste da área. Os sills que constituem o nível superior são pequenos

e estão espalhados com ocorrências isoladas por toda a faixa de exposição do contato entre o Subgrupo Itararé e a Formação Aquidauana. Esta unidade possui as maiores espessuras de solo, pois os diabásios se alteram com facilidade, originando um solo argiloso, vermelho escuro (UNESP, 1998).

d) *Coberturas Cenozóicas*: Consistem de sedimentos aluviais, colúvio-aluvionares, arenosos, argilosos e cascalheiras inconsolidadas. Possui uma ocorrência ao longo das planícies do aluvionares do Ribeirão Anhumas e seus afluentes.

O solo da área foi classificado como Latossolo roxo distrófico, textura argilosa, Unidade Barão Geraldo (Oliveira & Rotta, 1979). Na atual classificação brasileira de solos corresponde ao Latossolo vermelho distroférico, segundo Embrapa (1999). Em tal área, construíram-se, em 1986, oito talhões coletores de solo e água, cada qual com uma área útil de 600 m<sup>2</sup>, sendo 30 m de comprimento de rampa por uma soleira concentradora de 20 m de largura, localizados no terço médio de uma encosta com 9% de declive, orientação Norte-Sul e exposição Oeste (Medeiros et al., 2003).

Nos anos agrícolas de 1986/87, 1987/88, 1988/89 e 1989/90 foram feitas subsolagens a 0,50 m de profundidade, semeando-se crotalária, milho, soja e milho, respectivamente, em todas as parcelas. No período de 1990 a 1998, somente a cultura do milho foi semeada em sete dos oito talhões, trabalhados sob os seguintes sistemas de preparo do solo:

- sistema convencional com grade aradora – realizava-se uma gradagem pesada a 0,20 m de profundidade, com grade de 16 discos de 24” e uma outra gradagem pesada, seguida de uma gradagem de destorroamento/nivelamento na época da semeadura;
- sistema alternado de equipamentos – alternava-se, anualmente, o equipamento utilizado no preparo, repetindo-o a cada quatro anos. A seqüência utilizada era o preparo com grade aradora no primeiro ano, seguindo-se de arado de disco, arado de aiveca, e escarificador nos demais anos. No ensaio realizado, o equipamento utilizado no preparo foi o arado de aiveca;
- sistema arado escarificador – realizava-se a operação com escarificador de cinco hastes flexíveis a 0,30 m de profundidade, seguida de uma gradagem leve de destorroamento/nivelamento;
- sistema de plantio direto – aplicava-se herbicida antes da semeadura, realizando-se uma roçada dez dias depois. Efetuava-se semeadura com semeadora adubadora para sistema de plantio direto, sem mobilização prévia do solo;
- sistema convencional com arado de disco – utilizava-se um arado reversível de três discos de 26” com uma aração de incorporação a 0,20 m de profundidade. À época de semeadura, realizava-se uma segunda aração a 0,25 m de profundidade, seguida de duas gradagens leves para destorroamento e nivelamento;
- talhão roçado sem mobilização – parcela utilizada como testemunha de área sem nenhum tipo de mobilização do solo, ou seja, sua vegetação espontânea, predominantemente capim-colonião, era controlada por uma roçada inicial e posteriormente deixada em pousio durante todo o período;
- talhão mobilizado “morro abaixo” com arado de disco – essa parcela servia como tratamento para a possível erosão máxima causada pelo preparo de solo com arado reversível de três discos de 26”, com aração no sentido da pendente, o mesmo ocorrendo com a aração e as gradagens de destorroamento e nivelamento prévias à semeadura;
- sistema rotavação – o preparo do solo foi realizado com uma única operação empregando-se uma enxada rotativa de rotor fixo, a 0,18 m de profundidade, cuja operação provocava a incorporação de inços, destorroamento e nivelamento.

## MATERIAL E MÉTODOS

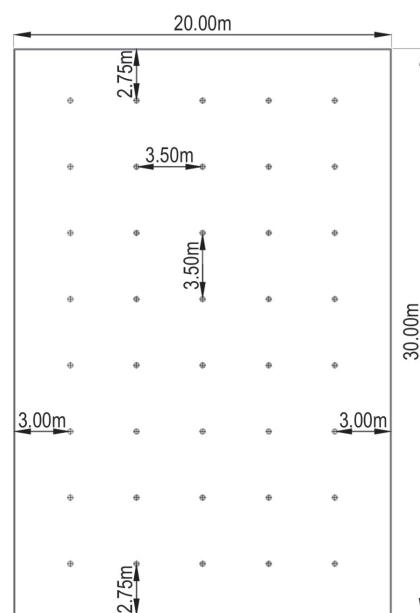
Os sistemas de preparo do solo inicialmente selecionados para a análise das características físico-hídricas do Latossolo vermelho foram o plantio direto, o escarificador, o rotavação e o preparo convencional com arado de disco. A seleção desses tratamentos deveu-se às diferenças verificadas na condutividade hidráulica saturada, profundidade da camada compactada, resistência do solo à penetração e perda de solos, desde 1990, de acordo com dados compilados e apresentados em Lucarelli (1997). Nesses tratamentos, realizaram-se, no período de maio a agosto de 1999, os levantamentos das características físicas e hídricas do solo.

### LEVANTAMENTO DOS PARÂMETROS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO

A avaliação dos efeitos acumulados provocados pelos diferentes sistemas de preparo consistiu da análise de uma série de propriedades físico hídricas do solo, incluindo: densidade do solo e de partículas, condutividade hidráulica saturada, infiltração básica e a porosidade total.

As amostragens foram feitas em forma reticulada com os pontos distanciados de 3,5 m, em um total de 40 pontos (Figura 2). Preferiu-se esse tipo de coleta

peelo fato de se manter constante a intensidade de amostragem em toda a área.



**FIGURA 2.** Esquema de amostragem para a determinação da textura, densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total, condutividade hidráulica saturada e infiltração básica.



Os parâmetros levantados nos primeiros 0,20 m de profundidade foram a densidade de partículas e a porosidade total, enquanto a condutividade hidráulica saturada e infiltração básica foram medidas a 0,15 m de profundidade. Já a densidade do solo foi determinada até a profundidade de 0,40 m, em intervalos de 0,10 m.

Calculou-se a porosidade total (P) em cada ponto da malha a partir da seguinte relação (Hillel, 1998):

$$P = \left( 1 - \frac{D_p}{D_s} \right) 100 \quad (1)$$

em que P é a porosidade total do solo [% em volume],  $D_p$  a densidade de partículas [ $Mg\ m^{-3}$ ] e  $D_s$  a densidade do solo [ $Mg\ m^{-3}$ ].

A densidade de partículas foi determinada no Laboratório de Solos da Feagri, adotando-se procedimento descrito em Embrapa (1997).

Determinou-se a condutividade hidráulica saturada de campo (kfs) e a infiltração básica (I) por meio do permeâmetro de Guelph, segundo método descrito por Reynolds & Elrick (1986), nos pontos relacionados na Figura 2. Realizaram-se as medições, usando-se as cargas hidráulicas de 0,03 e 0,06 m, seguindo metodologia adotada pelo Centro de Solos e Recursos Agroambientais do Instituto Agrônomo (IAC).

A equação básica resultante para a condição de fluxo sob carga constante (H), dentro do orifício cilíndrico de raio a, é:

$$Q = \left( \frac{2\pi H^2}{C} + \pi a^2 \right) k_{fs} + \left( \frac{2\pi H}{C} \right) \phi_m \quad (2)$$

em que: Q é o fluxo para manter a carga hidráulica H constante no interior do orifício [ $cm^3\ min^{-1}$ ], H é a carga hidráulica no interior do orifício [cm], C é um fator que considera a geometria das medições, determinado graficamente, de acordo com a textura do solo,  $\phi_m$  é o fluxo matricial [ $cm^2\ min^{-1}$ ], e a o raio do orifício, o qual correspondeu a 0,03 m.

Calculou-se a infiltração básica a partir dos dados levantados durante o ensaio de condutividade hidráulica saturada para a carga de 0,06 m, por meio do seguinte equacionamento:

$$I = 60 \left( \frac{d_p^2}{d_0^2 + 4d_0H_2} \right) Q \quad (3)$$

em que: I é a infiltração básica [ $mm\ h^{-1}$ ],  $d_p$  é o diâmetro do reservatório de alimentação de água do permeâmetro de Guelph [cm],  $d_0$  é o diâmetro do orifício [cm],  $H_2$  é a segunda carga hidráulica utilizada de 0,06 m, Q é o fluxo constante medido [ $mm\ min^{-1}$ ].

A solução numérica das equações 2 e 3 foi realizada com o auxílio do software GPM elaborado pelo Pesquisador Dr. Sidney Rosa Vieira, do Centro de Solos e Recursos Agroambientais do IAC.

Determinou-se a densidade do solo a partir de amostras indeformadas coletadas com um amostrador de solos mecanizado, descrito por Teixeira (2000).

## CURVA DE RETENÇÃO, POROSIDADE TOTAL, MACRO E MICROPOROSIDADE

A curva de retenção de água no solo foi obtida em três trincheiras por tratamento avaliado, a partir de amostras indeformadas, coletadas em anéis volumétricos de  $100\ cm^3$  até a profundidade de 0,60 m, em intervalos de 0,15 m, com três repetições por profundidade. Em todas as trincheiras, coletaram-se os anéis sempre na mesma parede, no sentido da pendente. As análises foram realizadas no Laboratório de Física do Solo do Centro de Solos e Recursos Agroambientais do IAC.

Com base nos dados da curva de retenção de água no solo foram ajustadas curvas entre a umidade do solo ( $\theta$ ) e o potencial matricial h, pela equação desenvolvida por Van Genuchten (1980), utilizando o software SWRC desenvolvido por Dourado Neto et al. (2000):

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{\left[ 1 + (\alpha\psi)^n \right]^m} \quad (4)$$

em que:  $\theta$  é a umidade volumétrica do solo [ $cm^3\ cm^{-3}$ ];  $\psi$  é o módulo do potencial matricial correspondente à umidade volumétrica  $\theta$  [cm de água];  $\theta_s$  é a umidade volumétrica do solo na saturação [ $cm^3\ cm^{-3}$ ];  $\theta_r$  é a umidade volumétrica residual correspondente ao potencial de 15.000 cm de água [ $cm^3\ cm^{-3}$ ]; e  $\alpha$ , m, n são parâmetros do solo obtidos através de regressão não linear.

Determinou-se a porosidade total, macro e microporosidade fundamentado nos resultados da curva de retenção, seguindo o critério recomendado em Embrapa (1997) e utilizado por vários autores (Lucarelli, 1997; Maia, 1999; Guimarães, 2000; Stone & Silveira, 2001; Beutler et al., 2001; Souza et al., 2001), no qual se assume que a porosidade total corresponde a umidade volumétrica em porcentagem na saturação. A umidade volumétrica em porcentagem correspondente à tensão de 6 kPa foi arbitrada como a porcentagem de microporos do solo, sendo o resultado da diferença entre a porosidade total e a porcentagem de microporos aquele relativo à porcentagem de macroporos.

## ANÁLISE ESTATÍSTICA

Na amostra de 40 pontos sob quatro sistemas de preparo de solo (escarificador, plantio direto, arado de disco e rotavação), independentes entre si, foram observadas as seguintes propriedades do solo:

- Densidade do solo em quatro profundidades (0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m);
- Densidade de partículas entre 0 e 0,20 m;
- Porosidade total entre 0 e 0,20 m;
- Condutividade hidráulica saturada e infiltração básica a 0,15 m de profundidade.

Além dessas, realizou-se inferência estatística para a variável porosidade total do solo, macroporosidade, microporosidade nas camadas de solo de 0 a 0,15; 0,15 a 0,30; 0,30 a 0,45 e 0,45 a 0,60 m, em amostras de três pontos por profundidade em cada trincheira e três trincheiras por tratamento de sistema de preparo do solo.

Para comparar os sistemas de preparo do solo sobre as variáveis levantadas, dividiu-se o estudo nas seguintes etapas:

1. Aplicação da análise de variância multivariada (MANOVA) (Johnson, 1988) aos seguintes parâmetros físico-hídricos do solo: densidade de partículas, porosidade total, condutividade hidráulica saturada e infiltração básica, entre 0 e 0,20 m de profundidade.
2. Aplicação da análise de variância multivariada (MANOVA) com medidas repetidas (profundidades) dentro do sistema de preparo do solo para:
  - Densidade do solo em quatro profundidades (0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m);
  - Macroporosidade, microporosidade, porosidade total em quatro profundidades (0-0,15; 0,15-0,30; 0,30-0,45 e 0,45-0,60 m).

Neste trabalho, utiliza-se o teste de diferenças mínimas significativas (dms), pois as comparações entre pares de médias adequam-se a comparações de efeitos entre amostras aleatórias retiradas de populações independentes depois das confirmações efetuadas pela MANOVA, ou mesmo pela ANOVA, com níveis de significância consideravelmente baixos, não acarretando em perda do poder do teste.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### DENSIDADE DO SOLO E DE PARTÍCULAS, POROSIDADE TOTAL

A densidade do solo é um atributo que apresenta baixa variabilidade e um coeficiente de variação (CV) inferior a 15% segundo Warrick (1998). Os resultados obtidos são condizentes com essa afirmação, pois o CV variou de 9,8 a 12,7%, e a maior variabilidade dos dados ocorreu na camada mais superficial do solo, de 0 a 0,10 m, pois é uma camada explorada pelo sistema radicular da vegetação deixada entre as épocas de instalação da cultura e pela mesofauna, a qual foi observada no material coletado.

A baixa variabilidade na densidade do solo têm sido verificada por diversos autores como Gonçalves (1997), Guimarães (2000), Souza et al. (2001), dentre outros.

Os tratamentos que apresentaram os maiores valores de densidade do solo até a profundidade de 0,20 m, não diferindo significativamente entre si, foram os sistemas de preparo escarificador, plantio direto e arado de disco. Considerando-se todas as profundidades, os tratamentos escarificador e plantio direto apresentaram os maiores valores, enquanto o sistema de preparo rotavação foi o que obteve a menor densidade do solo, conforme resultados apresentados na Tabela 1.

Todos os sistemas de preparo avaliados alcançaram o seu valor médio máximo de densidade do solo na camada de 0,20 a 0,30 m, como pode ser visto na Tabela 1.

Na literatura, tem-se encontrado uma diversidade de respostas relacionadas a um mesmo sistema de manejo, por causa das características de solo, planta, clima, etc. que interferem na dinâmica das transformações que o recurso natural solo possa apresentar. Além disso, o tempo, a intensidade do uso e a época de amostragem são fatores que contribuem para essa diversidade encontrada quando se comparam resultados de diferentes experimentos.

A maioria dos trabalhos avaliados, e relacionados à influência de sistemas de preparo sobre características físicas do solo, tem apontado para uma compactação na camada superficial em áreas manejadas com o sistema de plantio direto como citado em Silva et al. (2008), Stone & Silveira (2001), Beutler et al. (2001), Bertol et al. (2001), Guimarães (2000), Gómez et al. (1999), Cavalieri et al. (2006), Sobrinho et al. (2003), dentre outros. Esse aumento da densidade na camada superficial tem sido associado a trânsito de máquinas agrícolas e ao não revolvimento do solo no sistema plantio direto (Lima et al., 2006; Tormena et al., 2004). Já Costa et al. (2003) compararam o efeito prolongado, após 21 anos, do uso do plantio direto com

**TABELA 1.** Comparação entre médias da variável densidade do solo dos sistemas de preparo por profundidade pelo teste de diferenças mínimas significativas e intervalo de confiança da média, ao nível de 95%.

Tratamento	Profundidade				n
	0 – 0,10 m	0,10 – 0,20 m	0,20 – 0,30 m	0,30 – 0,40 m	
	----- (Mg m <sup>-3</sup> ) -----				
Escarificador	1,20a	1,31a	1,37a	1,37a	40
Plantio Direto	1,15ab	1,32a	1,35ab	1,30b	40
Arado Disco	1,20a	1,29a	1,33b	1,28bc	40
Rotavação	1,09b	1,22b	1,29c	1,26c	40
	dms=0,06 Mg m <sup>-3</sup>	dms=0,04 Mg m <sup>-3</sup>	dms=0,04 Mg m <sup>-3</sup>	dms=0,04 Mg m <sup>-3</sup>	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de diferenças mínimas significativas a 5%, n: número de observações.

o convencional de arado de disco em Latossolo Bruno, em Guarapuava – PR. Esses autores, ao contrário das outras referências citadas, verificaram que o plantio direto proporcionou uma redução de 9% na densidade do solo em subsuperfície (0,1 a 0,2 m de profundidade) em relação ao plantio convencional.

Maia (1999) avaliou a densidade do solo em duas camadas, de 0 a 0,10 m e de 0,10 a 0,20 m, em parcelas submetidas aos sistemas de preparo do solo escarificador, grade pesada e arado de disco, na Feagri - UNICAMP. Na camada superficial (0 a 0,10 m), o tratamento escarificador apresentou uma densidade de 0,92 Mg m<sup>-3</sup>, significativamente maior do que o sistema grade pesada e não diferindo do arado de disco, que atingiram 0,87 e 0,91 Mg m<sup>-3</sup> respectivamente. Na camada subsuperficial (0,10 a 0,20 m), os sistemas de preparo grade pesada e escarificador apresentaram, respectivamente, valores de 1,18 e 1,24 Mg m<sup>-3</sup>, os quais foram estatisticamente inferiores aos obtidos no tratamento arado de disco (1,24 Mg m<sup>-3</sup>).

Os valores observados por Maia (1999) foram inferiores aos deste trabalho, apesar de coletados em área contígua àquela do presente ensaio. O principal motivo foi o momento da amostragem, logo após as operações de preparo. Por isso, o sistema grade pesada que revolveu mais o solo apresentou valores, em média, significativamente inferiores aos demais sistemas nas camadas avaliadas.

A época da amostragem do presente trabalho foi provavelmente realizada no momento de maior densidade do solo na superfície e reflete, conseqüentemente, o efeito acumulado do sistema de preparo do solo ao longo dos anos.

A densidade de partículas, medida na profundidade de 0 a 0,20 m, apresentou baixa variabilidade, segundo a classificação de Warrick (1998). A maior variabilidade dos dados ocorreu no tratamento plantio direto, o qual apresentou um coeficiente de variação de 2,9%, próximo ao encontrado por Gonçalves (1997).

Os resultados médios apresentados na Tabela 2 mostram uma variação na faixa de 2,71 a 2,76 Mg m<sup>-3</sup>, dentro do esperado para uma grande variedade de solos de acordo com Reichardt & Timm (2004). Nesta tabela, a comparação de médias de densidade de partículas mostra que o tratamento rotavação teve um valor médio significativamente maior em relação aos demais, os quais não diferiram entre si, ao nível de significância de 5%. Outros autores têm apontado diferenças significativas para esse atributo, em estudos comparativos de sistemas de preparo do solo, como Beutler et al. (2001), sendo a causa relacionada aos menores teores de matéria orgânica proporcionados pelos tratamentos que revolvem mais o solo, principalmente na camada superficial.

A porosidade total é outro parâmetro do solo para o qual se espera encontrar baixa variabilidade (Warrick, 1998). De fato, os resultados da Tabela 3 mostram valores de CV variando de 5,2 a 8,5%. Resultados semelhantes foram obtidos por Souza et al. (2001), Guimarães (2000), Gonçalves (1997), dentre outros.

Na comparação de médias de porosidade total apresentada na Tabela 3, verifica-se que esse parâmetro foi significativamente afetado pelos sistemas de preparo do solo, como mostrado também por outros autores como Beutler et al. (2001), Stone & Silveira (2001), Guimarães (2000), Maia (1999).

Apesar da diferença significativa na densidade de partículas, os valores de porosidade estiveram inversamente associados àqueles de densidade do solo. Como conseqüência da densidade significativamente menor nas camadas de 0 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m (Tabela 1), o sistema de preparo motomecanizado rotavação apresentou porosidade significativamente maior em relação à dos demais tratamentos, os quais não diferiram estatisticamente entre si.

Alguns autores têm observado que o plantio direto apresenta valores estatisticamente menores de porosidade total em relação a outros sistemas de manejo

**TABELA 2.** Comparação entre médias da variável densidade de partículas dos sistemas de preparo, para a profundidade até 0,20 m, pelo teste de diferenças mínimas significativas e intervalo de confiança da média, ao nível de 95%.

Tratamento	Média	Med.	Min.	Max.	CV	n
	----- Mg m <sup>-3</sup> -----				%	
Escarificador	2,72b	2,74	2,67	2,78	1,34	40
Plantio Direto	2,72b	2,70	2,56	2,90	2,90	40
Arado Disco	2,71b	2,70	2,60	2,86	2,49	40
Rotavação	2,76a	2,74	2,67	2,90	2,22	40
Diferença mínima significativa = 0,02 Mg m <sup>-3</sup>						

Média: média aritmética; Med.: mediana; Min.: valor mínimo observado;  
Max.: valor máximo observado; CV: coeficiente de variação

**TABELA 3.** Comparação entre médias da variável porosidade total dos sistemas de preparo, para a profundidade até 0,20 m, pelo teste de diferenças mínimas significativas e intervalo de confiança da média, ao nível de 95%.

Tratamento	Média	Med.	Min.	Max.	CV	n
	----- % (base volume) -----				%	
Escarificador	53,94b	54,26	48,65	59,14	5,22	40
Plantio Direto	55,04b	54,87	42,85	62,79	7,61	40
Arado Disco	54,03b	54,53	46,11	66,78	7,66	40
Rotavação	58,12a	57,93	47,30	64,26	6,03	40
Diferença mínima significativa = 0,02 Mg m <sup>-3</sup>						

Média: média aritmética; Med.: mediana; Min.: valor mínimo observado;  
Max.: valor máximo observado; CV: coeficiente de variação.

(Beutler et al., 2001; Stone & Silveira, 2001; Guimarães, 2000; Silva et al., 2008 dentre outros).

Por outro lado, existem trabalhos nos quais não se encontraram diferença nos valores médios observados de porosidade total quando comparados o sistema de manejo plantio direto e o convencional. (Costa et al., 2003)

O sistema de preparo do solo escarificador foi o que apresentou os maiores valores médios de porosidade total nas camadas de solo de 0 a 0,10 m e de 0,10 a 0,20 m, em experimento realizado por Maia (1999). Na profundidade de 0 a 0,10 m, a porosidade total dos tratamentos escarificador e arado de disco atingiram 63,6% e 63,3%, os quais foram superiores ao do presente trabalho. Essa superioridade deve-se ao momento em que as amostragens de Maia (1999) foram realizadas, ou seja, em seguida às operações de preparo do solo, levando a valores mais reduzidos de densidade do solo e, conseqüentemente, a maiores valores de porosidade total.

Lucarelli (1997) estudou a influência do sistema de preparo do solo nas características físico-hídricas do solo nas mesmas áreas experimentais avaliadas neste trabalho, no ano de 1995, ou seja, quatro anos antes do presente estudo. No trabalho citado, as determinações foram realizadas em trincheiras, numa quantidade de amostragens por parcela que não possibilitou

a comparação estatística entre os tratamentos. Compararam-se, no presente, os resultados de porosidade total obtidos pelo autor àqueles arrolados neste trabalho, a fim de avaliar a concordância ou não das observações.

Os resultados de Lucarelli (1997), na camada superficial do solo até 0,20 m de profundidade, mostram que o tratamento escarificador e plantio direto apresentaram os maiores valores: em média de 64 e 62%, respectivamente, enquanto nos tratamentos arado de disco e rotavação atingiu-se 55,8 e 55,6% respectivamente. Com exceção dos tratamentos de preparo reduzido e plantio direto, os outros tratamentos tiveram valores próximos aos encontrados neste trabalho.

Uma das fontes de variação pode ser o método empregado, pois em Lucarelli (1997) a porosidade total foi determinada da mesma forma que em Maia (1999), ou seja, utilizando da umidade em base volume na saturação. A diferença no valor da densidade do solo, na camada de 0 a 0,20 m, menor na época de amostragem feita por Lucarelli (1997), em torno de 1,17 Mg m<sup>-3</sup>, e maior na do presente trabalho, 1,26 Mg m<sup>-3</sup>, para o tratamento escarificador, pode ser outro dos motivos.

No tratamento arado de disco, Lucarelli (1997) observou uma densidade do solo em torno de 1,30 Mg m<sup>-3</sup>, a qual se aproxima da que é apresentada neste trabalho,



ou seja,  $1,25 \text{ Mg m}^{-3}$ . Conseqüentemente, demonstra-se a influência das condições físicas na época de amostragem sobre a porosidade total do solo.

#### CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO E QUALIDADE DOS POROS

A Tabela 4 apresenta os parâmetros da regressão do modelo de Van Genuchten (1980), calculados pelo modelo de Dourado Neto et al. (2000), para os diferentes tratamentos de sistema de preparo do solo conduzidos em Latossolo vermelho. Não foi constatado efeito significativo dos sistemas de preparo e das camadas amostradas nos coeficientes da equação de Van Genuchten (1980), concordando com o observado por Cavalieri et al. (2004). Todavia, o modelo de Van Genuchten (1980) ajustou-se adequadamente aos dados de umidade volumétrica e potencial matricial, demonstrado pelos elevados valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), os quais foram superiores a 0,98, o que concorda com Tormena et al. (2004).

A qualidade da porosidade total do solo pode ser medida por meio da macroporosidade e da microporosidade.

A microporosidade é responsável pela capacidade de retenção de água e solutos no solo e a macroporosidade influencia diretamente a capacidade de infiltração, a drenabilidade do solo e sua capacidade de aeração (Hillel, 1998).

A porosidade total, a macroporosidade e a microporosidade para a camada do solo de 0 a 0,60 m, em incrementos de 0,15 m, foram determinadas a partir dos dados da curva de retenção.

Apresentam-se na Tabela 5 os resultados da comparação de médias para a porosidade total, macroporosidade e microporosidade do solo por profundidade.

Os valores observados de porosidade total na camada superficial do solo, com base nos dados da curva de retenção, foram inferiores àqueles determinados pela equação 1. Um dos fatores que pode ter contribuído para tal relação de inferioridade refere-se ao método de amostragem do solo utilizado. As amostras coletadas por meio do amostrador descrito em Teixeira (2000) apresentaram os seguintes valores médios de densidade do solo: 1,26; 1,23; 1,25 e 1,19  $\text{Mg m}^{-3}$ , enquanto pelo método do anel volumétrico, o qual foi utilizado nas trincheiras, os valores foram 1,33; 1,39; 1,33 e 1,20  $\text{Mg m}^{-3}$  para os tratamentos escarificador, plantio direto, arado de disco e rotavação respectivamente, até a profundidade de 0,20 m.

A maior diferença relativa nos valores de densidade na camada superficial ocorreu no plantio direto, atingindo  $0,130 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , o que pode ter levado à maior variação relativa na porosidade total entre os dois métodos, a qual alcançou  $0,102 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , sendo a menor diferença observada no tratamento rotavação.

Valores significativamente superiores de macroporosidade foram observados na camada superficial

**TABELA 4.** Parâmetros da regressão do modelo de Van Genuchten (1980) para os diferentes tratamentos de sistema de preparo do solo conduzidos em Latossolo vermelho, em Campinas, SP, no ano de 1999.

Tratamento	Prof. cm	Parâmetros				
		$\alpha$	$m$	$n$	$\theta_r$	$\theta_o$
					---- $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ----	
Escarificador	0,0 – 0,15	0,094112	0,298733	1,425990	0,234	0,545
	0,15 – 0,30	0,062708	0,298823	1,426174	0,244	0,538
	0,30 – 0,45	0,051929	0,342560	1,521052	0,260	0,573
	0,45 – 0,60	0,043818	0,390130	1,639693	0,242	0,591
Plantio Direto	0,0 – 0,15	0,035180	0,317487	1,465173	0,251	0,498
	0,15 – 0,30	0,035842	0,332963	1,499168	0,257	0,494
	0,30 – 0,45	0,045943	0,313595	1,456866	0,242	0,521
	0,45 – 0,60	0,041711	0,316505	1,463070	0,230	0,535
Arado Disco	0,0 – 0,15	0,046473	0,314899	1,459639	0,231	0,521
	0,15 – 0,30	0,044734	0,315503	1,460927	0,258	0,510
	0,30 – 0,45	0,052718	0,358345	1,558470	0,227	0,546
	0,45 – 0,60	0,047504	0,394059	1,650326	0,211	0,581
Rotavação	0,0 – 0,15	0,038587	0,351826	1,542795	0,208	0,568
	0,15 – 0,30	0,036348	0,318528	1,467412	0,252	0,530
	0,30 – 0,45	0,047387	0,332953	1,499145	0,244	0,552
	0,45 – 0,60	0,050539	0,344125	1,524681	0,234	0,580

**TABELA 5.** Comparação de médias para porosidade total na profundidade de 0 a 0,60 m e intervalo de confiança da média ao nível de 95%, para um Latossolo vermelho sob os sistemas de preparo do solo em Campinas, SP, no ano de 1999.

Tratamento	Profundidade (m)				n
	0 - 0,15	0,15 - 0,30	0,30 - 0,45	0,45 - 0,60	
<b>Porosidade total</b>					
----- m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----					
Escarificador	0,544b	0,538a	0,566a	0,587a	9
Plantio Direto	0,498d	0,499b	0,521c	0,535b	9
Arado Disco	0,521c	0,510b	0,547ab	0,581a	9
Rotavação	0,567a	0,530a	0,552b	0,580a	9
dms	0,019 m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	0,016 m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	0,017 m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	0,017 m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	
<b>Macroporosidade</b>					
----- m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----					
Escarificador	0,145ab	0,123a	0,156ab	0,191ab	9
Plantio Direto	0,085c	0,095b	0,117c	0,124c	9
Arado Disco	0,127b	0,102ab	0,166a	0,201a	9
Rotavação	0,157a	0,105ab	0,142b	0,169b	9
dms	0,028 m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	0,022 m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	0,024 m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	0,027 m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	
<b>Microporosidade</b>					
----- m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----					
Escarificador	0,398ab	0,414ab	0,410a	0,396a	9
Plantio Direto	0,413a	0,404b	0,403a	0,411a	9
Arado Disco	0,393b	0,408b	0,381b	0,379b	9
Rotavação	0,411ab	0,425a	0,410a	0,411a	9
dms	0,019 m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	0,015 m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	0,014 m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	0,017 m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de diferenças mínimas significativas a 5%, n: número de observações.

(0 a 0,15 m), para o tratamento rotavação, em subsuperfície (0,15 a 0,30 m), no tratamento escarificador e nas mais profundas (0,30 a 0,45 m e 0,45 a 0,60 m), para o sistema convencional com arado de disco.

As médias estatisticamente inferiores de porosidade total e macroporosidade do solo, até a profundidade de 0,60 m, ocorreram no tratamento plantio direto. Esses resultados concordam com os que foram descritos por outros autores, como Stone & Silveira (2001), Tormena et al. (2004), Guimarães (2000).

Apesar dos maiores valores de densidade do solo encontrados para o tratamento escarificador (Tabela 1) e que poderiam levar a uma redução da porosidade total, em especial dos macroporos (Hillel, 1998), o que se observou foi uma superioridade significativa desse tratamento ao longo do perfil do solo, com exceção da camada 0 a 0,15 m.

O comportamento da microporosidade ao longo do perfil revelou que o plantio direto apresentou valores significativamente mais elevados na camada superficial, de 0 a 0,15 m, e na mais profunda, 0,45 a 0,60 m, não diferindo estatisticamente dos maiores valores na camada de 0,30 a 0,45 m. Alguns autores têm observado valores

superiores de microporosidade no sistema de manejo plantio direto, principalmente próximo à superfície, como Stone & Silveira (2001), Guimarães (2000).

Costa et al. (2003), a exemplo do que ocorreu com a porosidade total, não encontraram diferenças significativas entre macro e microporosidade para os manejos convencional e plantio direto, contradizendo a maioria dos trabalhos.

Maia (1999) encontrou valores de macroporosidade significativamente superiores no tratamento escarificador em relação ao sistema grade pesada, não diferindo estatisticamente em relação ao arado de disco, para duas camadas de solo analisadas de 0 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m. A microporosidade não apresentou diferenças estatísticas na camada de 0 a 0,10 m, porém, na camada de 0,10 a 0,20 m o sistema arado de disco alcançou valores significativamente maiores em relação aos demais tratamentos.

Contrariando a maioria dos resultados de pesquisa apresentados, Lucarelli (1997) encontrou valores superiores de macroporosidade próximo à superfície do solo no sistema plantio direto em relação aos tratamentos escarificador, arado de disco e rotavação,

os quais atingiram 0,262; 0,221; 0,126 e 0,113 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> respectivamente. Em contrapartida, a microporosidade na semeadura direta foi a menor, atingindo 0,395 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, enquanto os sistemas escarificador, arado de disco e rotavação alcançaram 0,420; 0,444 e 0,442 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> respectivamente. Contudo, esses resultados devem ser considerados como valores de referência, visto que não houve condições de se realizar uma comparação estatística.

Pode-se concluir que o tratamento escarificador foi o que apresentou melhor distribuição de poros tanto em quantidade quanto em qualidade sendo este um fator apontado como benéfico para o desenvolvimento radicular de diversas culturas por Castro (1995).

### CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA E INFILTRAÇÃO BÁSICA

A condutividade hidráulica (kfs) é afetada tanto por características do solo, como a porosidade total, a distribuição do tamanho dos poros, a tortuosidade, em resumo a geometria dos poros do solo e sua textura, quanto por características do fluido, como a densidade e viscosidade (Hillel, 1998). Já Reichardt & Timm (2004) denominam infiltração o processo pelo qual a água entra no solo, representando a sua permeabilidade.

As estatísticas descritivas e a comparação de médias da condutividade hidráulica saturada e da infiltração básica, a uma profundidade de 0,15 m, estão representadas nas Tabelas 6 e 7.

Observou-se alta variabilidade dos dados, tanto para a condutividade hidráulica saturada quanto para a infiltração básica, com coeficientes de variação próximos a 50%, os quais se encontram no limite entre a variabilidade média e alta, segundo a classificação proposta por Warrick (1998).

O mesmo tem ocorrido com a infiltração básica, a qual apresentou uma variabilidade alta, segundo a classificação proposta. Outros autores também encontraram resultados com CV da mesma ordem de grandeza, como Guimarães (2000) e Maia (1999). Nesses trabalhos, basicamente relacionados à variabilidade espacial de parâmetros de solo, tem-se uma quantidade de dados de condutividade hidráulica saturada, que permite uma análise estatística descritiva desta natureza.

Guimarães (2000) obteve, para condutividade hidráulica saturada, valores de 8,1 e 5,6 mm h<sup>-1</sup>, respectivamente, nos tratamentos plantio direto e convencional. Contudo, essa diferença de 31% não foi significativa, provavelmente em função da variabilidade

**TABELA 6.** Resultados de condutividade hidráulica saturada verificada para os tratamentos de preparo do solo escarificador, plantio direto, arado de disco e rotavação, na profundidade de 0,15 m, em Campinas, SP, no ano de 1999.

Tratamento	Média	Med.	Min.	Max.	CV	n
	----- % (base volume) -----				%	
Escarificador	72,0a	67,3	14,5	182,0	40,15	40
Plantio Direto	74,0a	61,9	10,9	222,0	59,87	40
Arado Disco	62,2a	51,4	7,2	182,0	70,32	40
Rotavação	73,6a	69,2	7,2	244,0	58,30	40
Diferença mínima significativa = 18,3 mm h <sup>-1</sup>						

Média: média aritmética; Med.: mediana; Min.: valor mínimo observado;  
Max.: valor máximo observado; CV: coeficiente de variação.

**TABELA 7.** Resultados de infiltração verificados para os sistemas de preparo do solo escarificador, plantio direto, arado de disco e rotavação, na profundidade de 0,15 m, em Campinas, SP, 1999.

Tratamento	Média	Med.	Min.	Max.	CV	n
	----- % (base volume) -----				%	
Escarificador	283,9a	247,7	82,6	516,1	42,75	40
Plantio Direto	182,7b	175,5	61,9	392,3	49,72	40
Arado Disco	177,6b	165,2	20,6	412,9	53,76	40
Rotavação	179,1b	165,2	41,3	351,0	41,87	40
Diferença mínima significativa = 42,9 mm h <sup>-1</sup>						

Média: média aritmética; Med.: mediana; Min.: valor mínimo observado;  
Max.: valor máximo observado; CV: coeficiente de variação.

dos dados que apresentou um coeficiente de variação de 106 e de 138% para os respectivos tratamentos.

O relato de autores abordando o comportamento da condutividade hidráulica saturada e infiltração básica não mostra uma tendência consistente na relação desses parâmetros com o sistema de manejo ou preparo do solo, como observado para outros atributos tratados neste trabalho.

Em alguns trabalhos têm-se encontrado valores de kfs e de infiltração superiores no plantio direto e no de preparo reduzido quando comparados a sistemas de preparo convencionais, como visto em Guimarães (2000), Castro (1995) e Sobrinho et al. (2003) dentre outros.

No presente trabalho, não foi observado qualquer diferença significativa no parâmetro kfs na comparação entre os tratamentos. O sistema plantio direto atingiu o maior valor de kfs,  $74,0 \text{ mm h}^{-1}$ , seguido do rotavação, escarificador e arado de disco, apesar de ter sido o tratamento com os valores mais reduzidos de macroporosidade.

Segundo Castro (1995) valores mais altos de infiltração e condutividade hidráulica saturada nos sistemas com menor mobilização do solo, especialmente em plantio direto, podem ser explicados pela continuidade dos poros que facilita a movimentação tridimensional da água. Isso ocorre mesmo que a porosidade total possa até ser menor, e pela maior atividade biológica da micro e mesofauna, a qual foi realmente observada durante a retirada de amostras para análise de densidade.

Lucarelli (1997) avaliou a continuidade dos poros ao longo do perfil, por meio de análise microscópica, nos mesmos tratamentos do presente trabalho e verificou que os sistemas escarificador, plantio direto

e rotavação foram os que apresentaram porosidade mais uniforme em todas as profundidades estudadas.

Na literatura encontram-se trabalhos em que não são verificadas diferenças entre valores de condutividade hidráulica saturada em solos submetidos a sistemas de manejo distintos (Costa et al., 2003), como também relatos de pesquisadores que têm encontrado valores de condutividade hidráulica saturada significativamente mais altos no plantio convencional em comparação aos do plantio direto (Gómez et al., 1999).

Os resultados de infiltração básica mostraram que o tratamento escarificador atingiu um valor médio significativamente mais alto em relação aos demais tratamentos, os quais não diferiram entre si. Na avaliação desse parâmetro, os tratamentos conservacionistas apresentaram os maiores valores,  $283,9$  e  $182,7 \text{ mm h}^{-1}$  para os sistemas escarificador e plantio direto respectivamente, em comparação aos sistemas rotavação e arado de disco cujos valores foram  $179,1$  e  $177,6 \text{ mm h}^{-1}$  respectivamente, o que concorda com Guimarães (2000), Maia (1999), Castro (1995).

Comportamento oposto foi observado por Gómez et al. (1999) e Bertol et al. (2001), que obtiveram maiores valores de permeabilidade para o preparo convencional em relação à semeadura direta.

A estreita relação da capacidade de infiltração de água no solo com a continuidade dos poros tem-se revelado como o mais eficaz parâmetro para a indicação de variações entre os sistemas de manejo em relação a outras determinações, além de constituir-se como indicador da qualidade do solo (Beutler et al., 2001).

Neste trabalho, a permeabilidade foi o parâmetro que demonstrou uma diferenciação entre os sistemas de preparo.

## CONCLUSÃO

Os sistemas de preparo motomecanizados afetaram significativamente os seguintes parâmetros físicos de solo: densidade de partículas, densidade do solo, capacidade de infiltração, porosidade total, macro e microporosidade. O tratamento escarificador apresentou a melhor distri-

buição de poros tanto em quantidade quanto em qualidade, além de uma infiltração notadamente maior em relação aos outros tratamentos de preparo e manejo do solo, o que indica uma melhor qualidade do solo para a agricultura, nas condições do presente estudo.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo financiamento da pesquisa (Processo 1999/03221-9). Este artigo é parte da Tese de Doutorado do 1º autor defendida junto a Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BERTOL, I.; BEUTLER, J.F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. *Scientia Agricola*, v. 58, n. 3, p. 555-60, 2001.
2. 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 dos cerrados. *Revista*



- Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 167-77, 2001.
3. CASTRO, O.M. **Comportamento físico e químico de um Latossolo Roxo em função do seu preparo na cultura do milho (*Zea mays* L.)**. Piracicaba, 1995. 174 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
  4. CAVALIERI, K.M.V.; TORMENA, C.A.; VIDIGAL FILHO, P.S.; GONÇALVES, A.C.A.; COSTA, A.C.S. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um Latossolo vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 137-147, 2006.
  5. COSTA, F.S.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 527-535, 2003.
  6. DAEE/UNESP – Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo/Universidade Estadual Paulista. **Mapa geológico do Estado de São Paulo: folha Campinas. Escala 1:250.000**. Referência SF-23-Y-A, 1982.
  7. DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Projeto Sapucaí, estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais**. Relatório Final de Geologia. Brasília: DNPM/CPRM, 229 p., 1979.
  8. DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D.R.; HOPMANS, J.W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O.O.S. Software to model soil water retention curves (SWRC, version 2.00). **Scientia Agricola**, v. 57, n. 1, p. 191-192, 2000.
  9. EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA / CNPS. **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 212 p., 1997.
  10. EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA / CNPS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 412 p., 1999.
  11. GÓMEZ, J.A.; GIRÁLDEZ, J.V.; PASTOR, M.; FERERES, E. Effects of tillage method on soil physical properties, infiltration and yield in an olive orchard. Amsterdam: **Soil & Tillage Research**, v. 52, p. 167-175, 1999.
  12. GONÇALVES, A.C.A. **Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo para fins de manejo de irrigação**. Piracicaba, 1997. 118 p. Tese (Doutorado em Agronomia, Área de concentração em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
  13. GUIMARÃES, E.C. **Variabilidade espacial de atributos de um Latossolo Vermelho Escuro textura argilosa da região do cerrado, submetido ao plantio direto e ao plantio convencional**. Campinas, 2000. 90 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia de Agrícola, Universidade Estadual de Campinas.
  14. HILLEL, D. **Environmental soil physics**. New York: Academic Press, 771 p., 1998.
  15. IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Mapa geológico do estado de São Paulo. São Paulo: Escala 1:500.000**. IPT, v. 1, 1981.
  16. JOHNSON, D. **Applied multivariate methods for data analysis**. California: Brooks Cole, Pacific Grove, 567 p., 1988.
  17. LIMA, C.L.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; GUBIANI, P.I. Qualidade físico-hídrica e rendimento de soja (*Glycine max* L.) e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) de um Argissolo Vermelho distrófico sob diferentes sistemas de manejo. **Ciência Rural**, v. 36, n. 4, p. 1172-1178, 2006.
  18. LUCARELLI, J.R.F. **Alterações em características de um Latossolo Roxo submetido a diferentes sistemas de manejo**. Campinas, 1997. 135 p. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia de Agrícola, Universidade Estadual de Campinas.
  19. MAIA, J.C.S. **Determinação de esquemas de amostragem para avaliação de propriedades físicas do solo sob diferentes sistemas de preparo**. Campinas, 1999. 158 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola, Área de concentração em Máquinas Agrícolas) – Faculdade de Engenharia de Agrícola, Universidade Estadual de Campinas.
  20. MEDEIROS, G.A.; LUCARELLI, J.R.F.; DANIEL, L.A. Manejo de água e solo: avanços e desafios para a conservação desses recursos naturais na agricultura. In: HAMADA, E. (Org.), **Água, Agricultura e Meio Ambiente no Estado de São Paulo: avanços e desafios**. Campinas, v. 1, p. 1-40, 2003.
  21. OLIVEIRA, J.B. & ROTA, C.L. **Levantamento pedológico semidetalhado dos solos do Estado de São Paulo**. Quadrícula de Campinas. Rio de Janeiro: IBGE, 169 p., 1979.
  22. REICHARDT, K. & TIMM, L.C. **Solo-planta-atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. 1a. ed. Barueri: Editora Manole, 478 p., 2004.
  23. REYNOLDS, W.D. & ELRICK, D.E. A method for simultaneous in situ measurements in the vadose zone of field saturated hydraulic conductivity, sorptivity, and the conductivity -pressure head relationship. **Ground Water Monitoring Review**, v. 6, p. 84-95, 1986.
  24. SILVA, R.F.; BORGES, C.D.; GARIB, D.M.; MERCANTE, F.M. Atributos físicos e teor de matéria orgânica na camada superficial de um argissolo vermelho cultivado com mandioca sob diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2435-2448, 2008.
  25. SOBRINHO, T.A.; VITORINO, A.C.T.; SOUZA, L.C.F.; GONÇALVES, M.C.; CARVALHO, D.F. Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 191-196, 2003.
  26. SOUZA, Z.M.; SILVA, M.L.S.; GUIMARÃES, G.L.; CAMPOS, D.T.S.; CARVALHO, M.P.; PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo vermelho distrófico sob semeadura direta em Selvíria (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 699-707, 2001.
  27. STONE, L.F. & SILVEIRA, P.M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 395-401, 2001.
  28. TEIXEIRA, M.A.; MAGALHÃES, P.S.G.; BRAUNBECK, O.A. Equipamento para extração de amostras indeformadas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 4, p. 693-699, 2000.
  29. TORMENA, C.A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J.C.; COSTA, A.C.S.; FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num latossolo vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 1023-1031, 2004.
  30. UNESP – UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. **Levantamento geológico-geotécnico para subsidiar o desenvolvimento urbano das cidades de Mogi Guaçu, Itapira e Moji Mirim**. Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 1998.
  31. Van GENUTCHEN, M. Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, v. 44, p. 892-898, 1980.
  32. WARRICK, A.W. Spatial variability. In: HILLEL, D. (Ed.) **Environmental soil physics**, Academic Press, p. 655-675, 1998.

Manuscrito Recebido em: 30 de agosto de 2009  
Revisado e Aceito em: 5 de janeiro de 2010

