

# QUALIDADE FÍSICA DE UM LATOSSOLO VERMELHO, SOB SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA E CULTIVO CONVENCIONAL

## PHYSICAL QUALITY OF AN OXISOL UNDER NO-TILLAGE AND CONVENTIONAL TILLAGE

**Cinara Xavier de ALMEIDA<sup>1</sup>; Ricardo Falqueto JORGE<sup>1</sup>; José Frederico CENTURION<sup>2</sup>; Elias Nascentes BORGES<sup>3</sup>; Karina de Vares ROSSETTI<sup>4</sup>; Fabiana de Souza PEREIRA<sup>5</sup>**

1. Professor, Doutor, Instituto de Ciências Agrárias - ICIAG, Universidade Federal de Uberlândia - UFU, Monte Carmelo, MG, Brasil. [cxalmeida@iciag.ufu.br](mailto:cxalmeida@iciag.ufu.br); 2. Professor, Doutor, Departamento de Solos e Adubos, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - FCAV, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Jaboticabal, SP, Brasil; 3. Professor, Doutor, ICIAG - UFU, Uberlândia, MG, Brasil.; 4. Doutoranda, Departamento de Solos e Adubos - FCAV/UNESP, Jaboticabal, SP, Brasil. Bolsista Capes; 5. Professora, Doutora, Instituto Federal de São Paulo - ISSP, Matão, SP, Brasil.

**RESUMO:** Para garantir a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, a compreensão e a quantificação do impacto do uso e manejo do solo na sua qualidade física são de fundamental importância. Nesse sentido, objetivou-se com este trabalho avaliar a qualidade de um Latossolo Vermelho sob cultivo convencional (CC) e sistema de semeadura direta (PD), por meio de diferentes indicadores físicos. Os sistemas de uso e manejo do solo foram: CC e PD por sete e oito anos consecutivos (solo de textura média) e CC e PD por nove e dez anos consecutivos (solo de textura argilosa). Foram determinadas, nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, a resistência do solo à penetração, a porosidade total, a macroporosidade e a microporosidade, a retenção de água no solo, o índice S, a densidade, a densidade do solo máxima e também a densidade do solo relativa. Foi verificada grande variação da resistência do solo à penetração ao longo do ciclo das culturas da soja e do milho, sendo que seus maiores valores foram constatados nas camadas superficiais. Dentre os sistemas de manejo, o PD apresentou maior resistência do solo à penetração. Dentre os sistemas de manejo, o CC apresentou melhores resultados em relação aos indicadores de qualidade física do solo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resistência do solo à penetração. Densidade do solo. Porosidade. Retenção de água no solo. Índice S.

### INTRODUÇÃO

Na medida em que os solos vão sendo incorporados aos processos de produção agropecuária, consideráveis alterações ocorrem em sua estrutura (ANDREOLA et al., 2000; ALMEIDA et al., 2009). Esse processo promove a redução da qualidade do solo em virtude da retirada da cobertura vegetal e da mecanização excessiva. Dessa forma, uma das principais consequências do manejo inadequado do solo é a compactação que leva à perda da sustentabilidade e, portanto, à redução da produtividade das culturas (OLIVEIRA et al., 2003; RICHART et al., 2005).

Por outro lado, a qualidade do solo pode ser mantida ou melhorada com o uso de sistemas de manejo sustentáveis (GREGORICH, 2002). Assim, o sistema de semeadura direta vem se destacando por constituir uma excelente alternativa de manejo conservacionista do solo (KLUTHCOUSKI et al., 2000). Nesse sistema, os resíduos vegetais são mantidos na superfície, contribuindo continuamente com o aporte de matéria orgânica ao solo, a qual é responsável pela conservação e melhoria da qualidade física do solo (LAL; GREENLAND, 1979; CASTRO FILHO et al., 1998).

Contudo, o sistema de semeadura direta quando mal conduzido pode levar à degradação da estrutura do solo, com aumento da densidade e consequente redução da porosidade total e de aeração, além de aumento na resistência mecânica do solo à penetração (CAMARA; KLEIN, 2005; KLEIN et al., 2008; KLEIN et al., 2009).

O sistema solo é dinâmico, e como base para a avaliação da sua qualidade em relação à sustentabilidade ambiental os indicadores escolhidos devem ser aqueles que mais respondam ao seu uso e manejo, e consigam definir os sistemas que ocasionam maiores ou menores impactos (LARSON; PIERCE, 1994; DEXTER, 2004a), pois um índice de qualidade do solo deve servir como indicador da capacidade do solo para a produção sustentável das culturas. Assim, o monitoramento da qualidade do solo é importante para detectar os problemas e indicar ações corretivas necessárias (KARLEN; STOTT, 1994).

Dessa forma, os indicadores de qualidade física do solo devem ter capacidade de identificar as variações de manejo e de clima para permitir intervenções, visando melhorar a qualidade do solo; devem permitir avaliações da qualidade do solo à curto e à longo prazo, compondo assim, bancos de

dados pré ou pró-existent; devem ser acessíveis aos usuários, em termos de facilidade de medição, além de apresentar o caráter de reprodutibilidade; devem ser aplicáveis em condições de campo, permitindo também relacionar medidas obtidas em laboratório e em campo, e, além disso, devem possuir critérios definidos para quantificar e interpretar seus valores (DORAN; PARKIN, 1994; KARLEN; STOTT, 1994; LARSON; PIERCE, 1994; DORAN; ZEISS, 2000; TORMENA et al., 2008).

Nesse contexto, objetivou-se com este trabalho avaliar a qualidade de um Latossolo Vermelho, sob cultivo convencional e sistema de semeadura direta, por meio de diferentes indicadores físicos.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em Jaboticabal, SP, Brasil. O solo das duas áreas experimentais foi classificado, de acordo com os critérios da Embrapa (2006), como Latossolo Vermelho distrófico típico, textura argilosa, A moderado, caulínico, hipoférrico. O relevo é plano e o clima é

mesotérmico de inverno seco (Cwa), segundo a classificação de Köppen.

A composição granulométrica do solo foi determinada nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, conforme Gee e Bauder (1986). O conteúdo de matéria orgânica do solo foi determinado conforme Rajj et al. (2001). Dessa forma, verificou-se, nessas camadas, textura média do solo para a área experimental 1 (LVd1), de coordenadas geográficas 21°15'11"S e 48°15'58"W a 619 m de altitude, e textura argilosa para a área experimental 2 (LVd2) de coordenadas geográficas 21°15'33"S 48°16'17"W a 607 m de altitude (Tabela 1).

Os solos estudados vinham sendo cultivado sob semeadura direta há aproximadamente seis e nove anos. No ano agrícola 2007/2008, parte dos solos foram escarificados e convertidos ao manejo convencional. Os sistemas de uso e manejo adotados para o estudo foram: cultivo convencional (CC<sub>LVd1</sub>) e sistema de semeadura direta por sete e oito anos (PD<sub>LVd1</sub>), na LVd1, e cultivo convencional (CC<sub>LVd2</sub>) e semeadura direta por nove e dez anos (PD<sub>LVd2</sub>), no LVd2.

**Tabela 1.** Conteúdo de matéria orgânica e granulometria dos solos nos sistemas de manejo

Tratamento	Camada m	g kg <sup>-1</sup>				M.O. dag kg <sup>-1</sup>
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	
CC <sub>LVd1</sub>	0-0,10	410	315	25	250	16
	0,10-0,20	323	334	37	306	15
	0,20-0,30	314	299	35	352	10
PD <sub>LVd1</sub>	0-0,10	401	321	42	236	17
	0,10-0,20	396	309	24	271	13
	0,20-0,30	328	362	19	291	11
CC <sub>LVd2</sub>	0-0,10	219	179	77	525	20
	0,10-0,20	220	181	122	477	17
	0,20-0,30	182	170	131	517	13
PD <sub>LVd2</sub>	0-0,10	216	193	163	428	22
	0,10-0,20	210	196	166	428	16
	0,20-0,30	204	205	148	443	14

MO: matéria orgânica. CC<sub>LVd1</sub>, CC<sub>LVd2</sub>, PD<sub>LVd1</sub> e PD<sub>LVd2</sub>: cultivo convencional e sistema de semeadura direta na área experimental 1 (LVd1) e na área experimental 2 (LVd2), respectivamente.

No ano agrícola 2008/2009, procedeu-se o preparo do solo, para o cultivo convencional, realizando uma escarificação até 0,30 m de profundidade, seguida de uma gradagem pesada e uma gradagem leve. O controle inicial de plantas infestantes nessas áreas foi realizado com a aplicação de trifluralina (0,445 kg L<sup>-1</sup>) a 0,890 kg

ha<sup>-1</sup>, que foi então incorporada com uma gradagem leve. A dessecação das áreas submetidas ao sistema de semeadura direta foi realizada utilizando-se a associação de s-metolaclo (0,960 kg L<sup>-1</sup>) a 1,44 kg ha<sup>-1</sup> e glifosato (0,480 kg L<sup>-1</sup>) a 0,96 kg ha<sup>-1</sup>.

No dia 19 de novembro de 2008, foi semeada a soja (*Glycine max*), cultivar M-Soy

6101<sup>®</sup>, a 0,03 m de profundidade, com 0,45 m de distância entre linhas e uma população de 400 mil plantas por hectare. Foi utilizado o inoculante Masterfix<sup>®</sup> (estirpes Semia 5019 (*Bradyrhizobium elkanii*) e Semia 5079 (*Bradyrhizobium japonicum*), com garantia de 5 bilhões de células viáveis g<sup>-1</sup>), na dosagem de 1,7 ml kg<sup>-1</sup> de sementes. As adubações basearam-se nos resultados das análises químicas do solo, com expectativa de alta produtividade, conforme Raij et al. (1997).

No ano agrícola 2009/2010, o preparo do solo para o cultivo convencional foi realizado conforme o ano agrícola anterior, com uma escarificação até 0,30 m de profundidade, seguida de uma gradagem pesada e uma gradagem leve. O controle inicial de plantas infestantes nessas áreas de cultivo convencional foi realizado com a aplicação de trifluralina (0,445 kg L<sup>-1</sup>) a 0,890 kg ha<sup>-1</sup>, incorporada com uma gradagem leve. Já a dessecação das áreas submetidas ao sistema de semeadura direta foi realizada utilizando-se a associação de s-metolaclo (0,960 kg L<sup>-1</sup>) a 1,44 kg ha<sup>-1</sup> e glifosato (0,480 kg L<sup>-1</sup>) a 0,96 kg ha<sup>-1</sup>. Para o controle de pragas iniciais, realizou-se a aplicação de clorpirifós (0,480 kg L<sup>-1</sup>) a 0,48 kg ha<sup>-1</sup>, em área total.

No dia 17 de dezembro de 2009, foi semeado o milho (*Zea mays*), híbrido Impacto da empresa Syngenta, à 0,03 m de profundidade, 0,45 m de distância entrelinhas e uma população de 60 mil plantas por hectare. As adubações basearam-se nos resultados das análises químicas do solo, com expectativa de alta produtividade, conforme Raij et al. (1997).

Verificou-se a variação da resistência do solo à penetração em função do conteúdo de água no solo, nos diferentes tratamentos, durante o ciclo das culturas do milho e da soja, utilizando-se um penetrômetro de impacto. As avaliações físicas do solo foram realizadas na entrelinha das culturas, nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m.

A resistência do solo à penetração, obtida com o penetrômetro de impacto (modelo IAA/Planalsucar-Stolf, com ângulo de 30°), foi determinada segundo Stolf (1991). Essas avaliações foram realizadas semanalmente em cinco pontos por bloco, conforme a variação do conteúdo de água no solo ao longo do ciclo das culturas, o qual foi monitorado por meio de um medidor eletrônico, composto pelo Profile Probe PR2 acoplado ao Moisture Meter HH2.

Foram coletadas amostras indeformadas de solo (dez por bloco), com cilindros de 0,03 m de altura e 0,048 m de diâmetro (53,16.10<sup>-6</sup> m<sup>3</sup>), as quais foram saturadas e submetidas às tensões de

0,001; 0,003; 0,006; 0,01; 0,033; 0,06; 0,1 e 0,3 MPa, em câmaras de Richards com placa porosa (KLUTE, 1986).

Nessas amostras foram determinados o conteúdo de água retida em cada tensão (KLUTE, 1986), a densidade do solo (BLAKE; HARTGE, 1986), a microporosidade, por secagem (tensão de 0,006 MPa), a porosidade total, segundo Danielson e Sutherland (1986), e a macroporosidade foi obtida por diferença entre a porosidade total e a microporosidade. As curvas de retenção de água foram ajustadas pela equação proposta por van Genuchten (1980). Dessa forma foi obtido o conteúdo de água retida na capacidade de campo (tensão de 0,01 MPa) e no ponto de murcha permanente (tensão de 1,5 MPa).

O índice S (DEXTER, 2004a) foi determinado a partir dos parâmetros obtidos pelo ajuste do modelo de van Genuchten (1980) aos dados da curva de retenção de água no solo.

A densidade de referência ou densidade do solo máxima foi determinada em amostras deformadas coletadas nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m e passadas em peneira de 0,004 m. Para tal, foi utilizado o teste de Proctor normal com reutilização do material (NOGUEIRA, 1998). O grau de compactação ou densidade do solo relativa foi obtida pela divisão da densidade atual do solo pela densidade de referência (densidade do solo máxima) multiplicado por cem, sendo assim, o valor obtido em porcentagem, da seguinte forma:

$$Densidade\ do\ solo\ relativa = \frac{Densidade\ do\ solo}{Densidade\ do\ solo\ máxima} * 100 \quad (14)$$

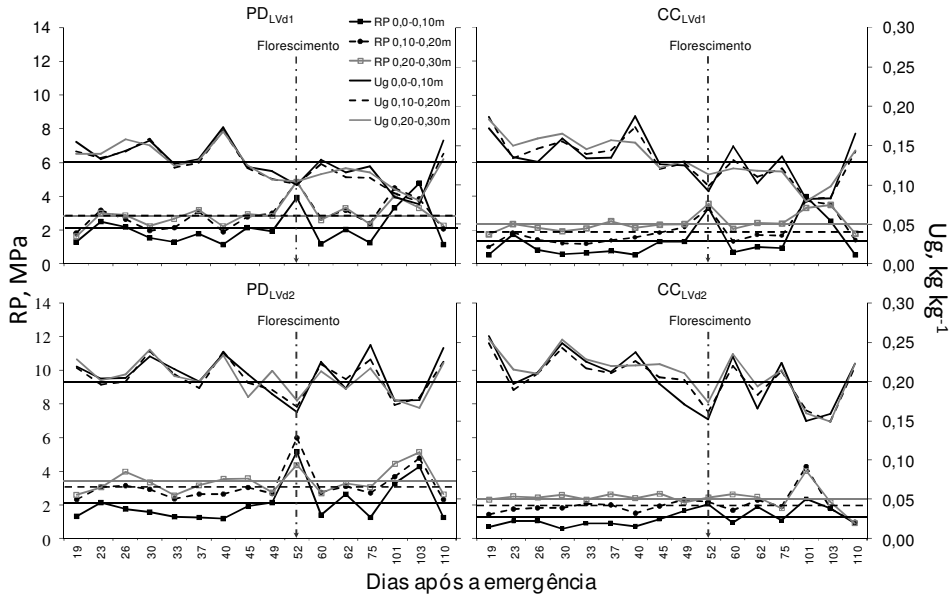
Os resultados foram submetidos à análise de variância, seguindo um esquema de parcelas subdivididas, tendo como parcelas os sistemas de manejo e as subparcelas as camadas de solo, em delineamento de três blocos casualizados. Quando houve diferença significativa pelo teste F, as médias das variáveis analisadas foram então comparadas pelo teste t, para grupos independentes, a 5% de probabilidade, utilizando-se o programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2009). Os resultados foram submetidos ainda à análise de correlação de Pearson ( $\alpha=0,05$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

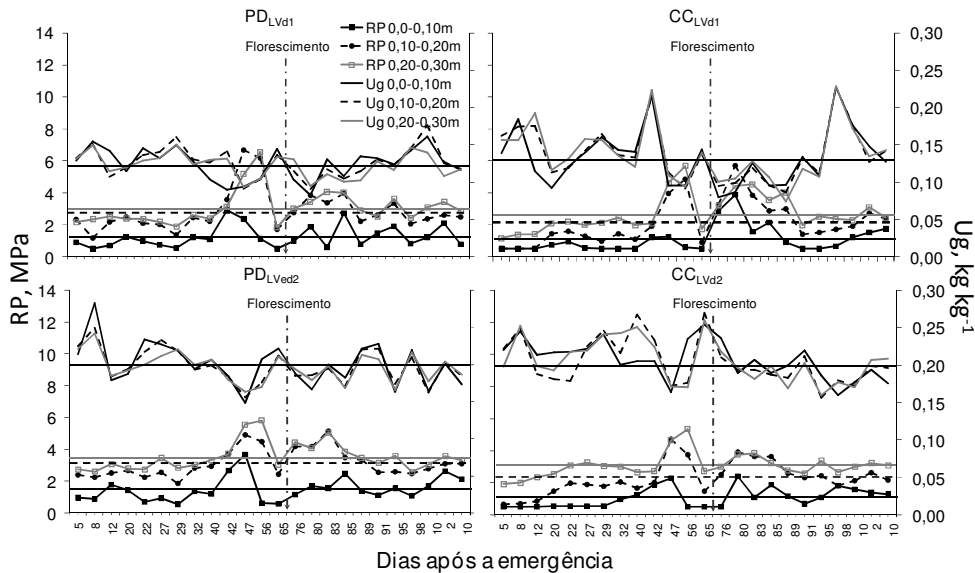
Verificou-se variação significativa do conteúdo de água no solo, ao longo do ciclo das culturas da soja e do milho (Figuras 1 e 2). Contudo, não houve diferença entre os tratamentos (semeadura direta e cultivo convencional) e entre as camadas analisadas em relação ao conteúdo de água

no solo, nas duas áreas experimentais (LVd1 e LVd2), tanto para o ciclo da cultura da soja quanto para o ciclo da cultura do milho. Dessa forma, os valores médios do conteúdo de água no solo foram de 0,13 kg kg<sup>-1</sup> para o PD<sub>LVd1</sub> e também para o CC<sub>LVd1</sub> e, de 0,21 kg kg<sup>-1</sup> para o PD<sub>LVd2</sub> e para o

CC<sub>LVd2</sub>, durante o ciclo da cultura da soja, e de 0,12 e 0,14 kg kg<sup>-1</sup> para o PD<sub>LVd1</sub> e CC<sub>LVd1</sub> e, de 0,19 e 0,20 kg kg<sup>-1</sup> para o PD<sub>LVd2</sub> e CC<sub>LVd2</sub>, respectivamente, durante o ciclo da cultura do milho.



**Figura 1.** Conteúdo de água (Ug) e resistência do solo à penetração (RP) nas diferentes camadas do Latossolo Vermelho distrófico típico, na área experimental 1 (LVd), de textura média e na área experimental 2 (LVd2), de textura argilosa, sob sistema de semeadura direta (PD) e cultivo convencional (CC), ao longo do ciclo da cultura da soja. As linhas horizontais representam os valores médios em cada camada.



**Figura 2.** Conteúdo de água (Ug) e resistência do solo à penetração (RP) nas diferentes camadas do Latossolo Vermelho distrófico típico, na área experimental 1 (LVd), de textura média e na área experimental 2 (LVd2), de textura argilosa, sob sistema de semeadura direta (PD) e cultivo convencional (CC), ao longo do ciclo da cultura do milho. As linhas horizontais representam os valores médios em cada camada.

Observou-se também variação significativa nos valores de resistência do solo à penetração,

conforme observado também por Lapen et al. (2004). De acordo com Almeida et al. (2008) a

resistência do solo à penetração é fortemente influenciada pelo conteúdo de água no solo, segundo uma relação exponencial, e que, quanto maior é o conteúdo de água no solo menores são os valores de resistência do solo à penetração, o que pode explicar a variação desse atributo durante o ciclo das culturas da soja e do milho.

Assim, durante o ciclo da cultura da soja, na LVd1, a resistência do solo à penetração média foi de 2,09; 2,88 e 2,90 MPa, para o PD<sub>LVd1</sub>, e de 1,32; 1,88 e 2,40 MPa, para o CC<sub>LVd1</sub>, nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, respectivamente, sendo restritivos ao desenvolvimento da cultura (BEUTLER; CENTURION, 2003) e variando conforme as mudanças de umidade no perfil do solo (ALMEIDA et al., 2008). Houve diferença significativa entre os manejos, nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m. No PD<sub>LVd1</sub>, a camada superficial (0-0,10 m) apresentou a menor resistência do solo à penetração em relação às demais, enquanto que no CC<sub>LVd1</sub> houve diferença apenas entre as camadas de 0-0,10 e 0,20-0,30 m.

Na LVd2, os valores médios desse atributo foram iguais a 2,12; 3,13 e 3,38 MPa, para o PD<sub>LVd2</sub>, e de 1,23; 1,98 e 2,40 MPa, para o CC<sub>LVd2</sub>, nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, respectivamente. Os menores valores de resistência do solo à penetração foram verificados na camada de 0-0,10 m, nos dois sistemas de manejo estudados, havendo diferença significativa em relação às outras camadas analisadas, e o solo sob PD<sub>LVd2</sub>, apresentou maiores valores de resistência do solo à penetração que o CC<sub>LVd2</sub>, corroborando os resultados obtidos por Ralisch et al. (2008), em um Latossolo Vermelho-Amarelo argiloso, sob sistema de semeadura direta, preparo convencional, pastagem e floresta.

Segundo Beutler e Centurion (2003) o nível crítico de resistência do solo à penetração, em relação à produção de grãos de soja, foi de 1,66 e 2,22 MPa, em um Latossolo Vermelho textura média, e de 3,05 e 2,81 MPa, em um Latossolo Vermelho textura argilosa, para o conteúdo de água retido nas tensões de 0,05 e 0,01 MPa, respectivamente. Ainda, segundo Beutler et al. (2007) a compactação excessiva do solo provocou decréscimo de produtividade da soja a partir da resistência do solo à penetração de 1,30 e 1,64 MPa, em cultivo de sequeiro e irrigado, respectivamente, em Latossolo Vermelho eutroférico, muito argiloso.

Durante o ciclo da cultura do milho, na LVd1, os valores médios de resistência do solo à penetração foram de 1,1; 2,1 e 2,7 MPa no CC<sub>LVd1</sub> e de 1,3; 2,8 e 3,0 MPa no PD<sub>LVd1</sub>, nas camadas de 0-

0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, respectivamente. Dessa forma, observa-se que os menores valores de resistência do solo à penetração foram encontrados na camada de 0-0,10 m, que diferiu estatisticamente das demais. Em relação aos sistemas de manejo do solo, houve diferença significativa apenas na camada de 0,10-0,20 m, em que o CC<sub>LVd1</sub> apresentou menor resistência do solo à penetração.

Freddi et al. (2009), avaliando os efeitos da compactação e da variação do conteúdo de água sobre alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho, de textura argilosa, observaram, que a resistência do solo à penetração atingiu os seus maiores valores num intervalo entre 42 e 65 dias após a emergência da cultura do milho. Segundo esses pesquisadores, a resistência do solo à penetração pode atingir valores extremos, mesmo em solos preparados, e que dependendo do regime hídrico, assim como, dependendo do estágio de desenvolvimento da cultura, pode ocasionar sérios problemas no crescimento radicular e na absorção de água e nutrientes, refletindo em menor produtividade.

Já na LVd2, os valores de resistência do solo à penetração foram iguais à 1,0; 2,3 e 3,1 MPa sob CC<sub>LVd2</sub>, e à 1,5; 3,2 e 3,5 MPa sob PD<sub>LVd2</sub>, nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, respectivamente. Conforme verificado também na LVd1, os maiores valores de resistência do solo à penetração encontram-se na camada de 0-0,10 m e os sistemas de manejo também se diferiram apenas na camada de 0,10-0,20 m.

Beutler et al. (2001), estudando a resistência do solo à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico típico, textura muito argilosa, sob diferentes sistemas de manejo, verificaram que, de modo geral, independentemente da profundidade, os maiores valores de resistência à penetração foram observados para o sistema de semeadura direta.

No cultivo de soja os maiores valores de densidade do solo foram verificados no solo sob PD<sub>LVd1</sub>, nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m (Tabela 2). Ao contrário, na LVd2 não houve diferença de densidade do solo entre os sistemas de manejo analisados (Tabela 3). Tanto no LVd1 quanto no LVd2, as maiores densidades do solo foram observadas nas camadas mais profundas (0,10-0,20 e 0,20-0,30 m). Beutler et al. (2007) verificaram decréscimo de produtividade da soja, sob cultivo de sequeiro e irrigado, a partir da densidade do solo de 1,26 e 1,29 Mg m<sup>-3</sup>, respectivamente, em estudo realizado em um Latossolo Vermelho eutroférico, muito argiloso.

**Tabela 2.** Densidade, porosidade total, macroporosidade e microporosidade do Latossolo Vermelho distrófico típico, na área experimental 1 (LVd1), de textura média, ao longo do ciclo da cultura da soja, nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m

Camada (m)	PD <sub>LVd1</sub>	CC <sub>LVd1</sub>	Média
		Densidade do solo (Mg m <sup>-3</sup> )	
0-0,10	1,43Ba	1,21Aa	1,32
0,10-0,20	1,57Bb	1,40Ab	1,47
0,20-0,30	1,49Aab	1,45Ab	1,48
<i>Média</i>	1,50	1,35	
		Porosidade Total (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	
0-0,10	0,35	0,42	0,38a
0,10-0,20	0,30	0,37	0,34b
0,20-0,30	0,31	0,34	0,33b
<i>Média</i>	0,32B	0,38A	
		Macroporosidade (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	
0-0,10	0,09Ba	0,20Aa	0,14
0,10-0,20	0,07Ba	0,13Ab	0,10
0,20-0,30	0,09Aa	0,08Ac	0,09
<i>Média</i>	0,08	0,14	
		Microporosidade (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	
0-0,10	0,26Aa	0,22Bb	0,24
0,10-0,20	0,23Aab	0,24Aab	0,24
0,20-0,30	0,22Bb	0,26Aa	0,24
<i>Média</i>	0,23	0,24	

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste t a 5%; letras maiúsculas referem-se à comparação de tratamentos; minúsculas comparam camadas de um mesmo tratamento, maiúsculas em itálico referem-se à comparação das médias de tratamentos e minúsculas em itálico comparam as médias de camadas; ns= não significativo.

**Tabela 3.** Densidade, porosidade total, macroporosidade e microporosidade do Latossolo Vermelho distrófico típico, na área experimental 2 (LVd2), de textura argilosa, ao longo do ciclo da cultura da soja, nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m

Camada (m)	PD <sub>LVd2</sub>	CC <sub>LVd2</sub>	Média
		Densidade do solo (Mg m <sup>-3</sup> )	
0-0,10	1,12	1,17	1,14a
0,10-0,20	1,24	1,20	1,22b
0,20-0,30	1,31	1,28	1,29c
<i>Média</i>	1,22 <sup>ns</sup>	1,21 <sup>ns</sup>	
		Porosidade Total (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	
0-0,10	0,46	0,44	0,45a
0,10-0,20	0,42	0,43	0,42b
0,20-0,30	0,40	0,40	0,40b
<i>Média</i>	0,43 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>	
		Macroporosidade (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	
0-0,10	0,16	0,13	0,15a
0,10-0,20	0,10	0,12	0,11ab
0,20-0,30	0,08	0,08	0,08b
<i>Média</i>	0,11 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	
		Microporosidade (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) <sup>ns</sup>	
0-0,10	0,30	0,31	0,31
0,10-0,20	0,31	0,31	0,31
0,20-0,30	0,32	0,32	0,32
<i>Média</i>	0,31	0,32	

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste t a 5%; letras maiúsculas referem-se à comparação de tratamentos; minúsculas comparam camadas de um mesmo tratamento, maiúsculas em itálico referem-se à comparação das médias de tratamentos e minúsculas em itálico comparam as médias de camadas; ns= não significativo.

Desta forma, verificou-se que o solo sob  $PD_{LVd1}$  e  $CC_{LVd1}$  apresentaram, em algumas camadas, valores de densidade do solo superiores a esses valores críticos observados por esses pesquisadores. Ao contrário, Centurion et al. (2006) constataram que valores de densidade do solo de até  $1,6 \text{ Mg m}^{-3}$  não causaram decréscimo significativo na produção de diferentes cultivares de soja, em um experimento realizado em casa de vegetação, em um Latossolo Vermelho textura média. Em conformidade com os resultados obtidos para a densidade do solo, observou-se no  $PD_{LVd1}$  menor porosidade total, menor macroporosidade (camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m) e maior microporosidade (na camada de 0-0,10 m). Entretanto, não houve diferença entre os sistemas de manejo na LVd2, em relação à esses atributos. Em um estudo realizado por Freddi et al. (2008), em um Latossolo Vermelho argiloso, constatou-se que a compactação do solo proporcionada pelo tráfego de tratores modificou os atributos físicos do solo, aumentando a microporosidade, a resistência do solo à penetração e a densidade do solo, com diminuição da macroporosidade e porosidade total. Segundo esses

pesquisadores, no processo de compactação ocorre a transformação de macro em microporos.

Durante o cultivo do milho não houve interação significativa entre os tratamentos e as camadas de solo analisadas, nas duas áreas experimentais (LVd1 e LVd2), para a densidade do solo, macroporosidade e microporosidade (Tabelas 4 e 5). No LVd1, menor densidade do solo foi verificada no  $PD_{LVd1}$ , ao contrário do LVd2, em que não houve diferença entre os tratamentos em relação à esse atributo. Os sistemas de manejo também não diferiram em relação à macroporosidade e à microporosidade nas duas áreas experimentais. Na camada de 0-0,10 m, maior porosidade total foi verificada no  $PD_{LVd1}$  e no  $PD_{LVd2}$ , nas outras camadas avaliadas o  $PD_{LVd1}$  e o  $CC_{LVd1}$  não diferiram em relação à esse atributo, enquanto que o  $PD_{LVd2}$  apresentou menor porosidade que o  $CC_{LVd2}$ . Em relação às camadas de solo analisadas, a camada de 0-0,10 m, tanto no LVd1 quanto no LVd2, apresentou menor densidade do solo, maior porosidade total e macroporosidade, enquanto que a microporosidade foi não significativa.

**Tabela 4.** Densidade, porosidade total, macroporosidade e microporosidade do Latossolo Vermelho distrófico típico, na área experimental 1 (LVd1), de textura média, ao longo do ciclo da cultura do milho, nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m

Camada (m)	$PD_{LVd1}$	$CC_{LVd1}$	Média
Densidade do solo ( $\text{Mg m}^{-3}$ )			
0-0,10	1,43	1,48	1,45a
0,10-0,20	1,60	1,63	1,60b
0,20-0,30	1,59	1,61	1,62b
<i>Média</i>	1,54A	1,57B	
Porosidade Total ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ )			
0-0,10	0,43Aa	0,40Ba	0,42
0,10-0,20	0,35Ab	0,36Ab	0,35
0,20-0,30	0,36Ab	0,38Aab	0,37
<i>Média</i>	0,38	0,38	
Macroporosidade ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ )			
0-0,10	0,17	0,13	0,15a
0,10-0,20	0,09	0,07	0,08b
0,20-0,30	0,09	0,09	0,09b
<i>Média</i>	0,12 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	
Microporosidade ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) <sup>ns</sup>			
0-0,10	0,27	0,27	0,27
0,10-0,20	0,26	0,29	0,27
0,20-0,30	0,27	0,30	0,28
<i>Média</i>	0,26	0,28	

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste t a 5%; letras maiúsculas referem-se à comparação de tratamentos; minúsculas comparam camadas de um mesmo tratamento, maiúsculas em itálico referem-se à comparação das médias de tratamentos e minúsculas em itálico comparam as médias de camadas; ns= não significativo.

**Tabela 5.** Densidade, porosidade total, macroporosidade e microporosidade do Latossolo Vermelho distrófico típico, na área experimental 2 (LVd2), de textura argilosa, ao longo do ciclo da cultura do milho, nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m

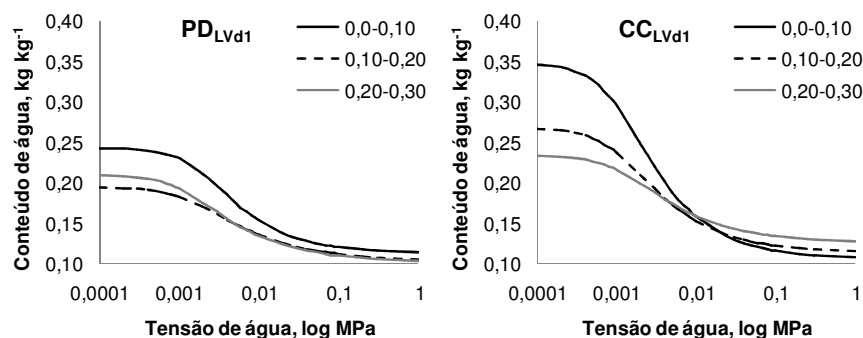
Camada (m)	PD <sub>LVd2</sub>	CC <sub>LVd2</sub>	Média
		Densidade do solo (Mg m <sup>-3</sup> )	
0-0,10	1,30	1,30	1,30a
0,10-0,20	1,49	1,41	1,45b
0,20-0,30	1,49	1,40	1,45b
<i>Média</i>	1,43 <sup>ns</sup>	1,37 <sup>ns</sup>	
		Porosidade Total (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	
0-0,10	0,49Aa	0,47Ba	0,48
0,10-0,20	0,44Bb	0,47Aa	0,45
0,20-0,30	0,43Bb	0,47Aa	0,45
<i>Média</i>	0,45	0,47	
		Macroporosidade (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	
0-0,10	0,12	0,11	0,12a
0,10-0,20	0,08	0,08	0,08b
0,20-0,30	0,06	0,07	0,07b
<i>Média</i>	0,09 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	
		Microporosidade (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) <sup>ns</sup>	
0-0,10	0,36	0,36	0,36
0,10-0,20	0,36	0,38	0,37
0,20-0,30	0,36	0,40	0,38
<i>Média</i>	0,36	0,38	

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste t a 5%; letras maiúsculas referem-se à comparação de tratamentos; minúsculas comparam camadas de um mesmo tratamento, maiúsculas em *itálico* referem-se à comparação das médias de tratamentos e minúsculas em *itálico* comparam as médias de camadas; ns= não significativo.

Durante o ciclo da cultura da soja, maiores amplitudes nas curvas de retenção de água foram observadas no CC<sub>LVd1</sub>, em todas as camadas e, dentre aquelas analisadas, a camada de 0-0,10 m foi a que apresentou maior retenção de água no solo (Figura 3). Contudo, na camada de 0-0,10 m, na LVd2, o PD<sub>LVd2</sub> apresentou maior retenção de água no solo que o CC<sub>LVd2</sub> (Figura 4). Ao contrário da

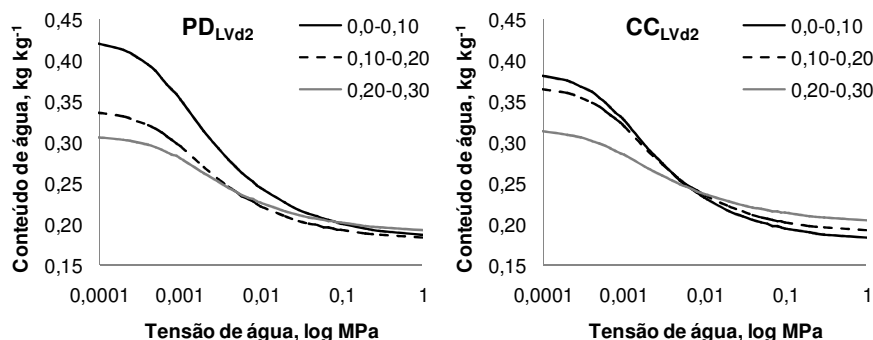
camada de 0,10-0,20 m, em que o CC<sub>LVd2</sub>, se sobressaiu em relação à retenção de água no solo.

No segundo ano de experimento (ciclo da cultura do milho), maior retenção de água foi verificada no PD<sub>LVd1</sub>, na camada de 0-0,10 m (Figura 5). Menor amplitude das curvas foram constatadas no PD<sub>LVd2</sub>, nas camadas de 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, em relação ao CC<sub>LVd2</sub> (Figura 6).

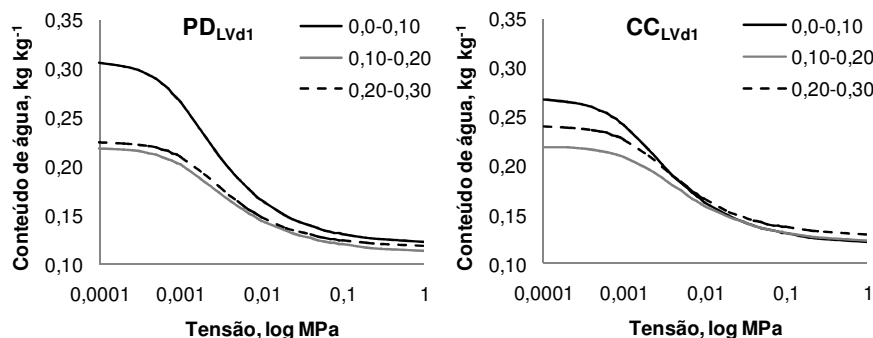


**Figura 3.** Curvas de retenção de água no Latossolo Vermelho distrófico típico, na área experimental 1 (LVd1), de textura média, sob cultivo convencional (CC<sub>LVd1</sub>) e sistema de semeadura direta (PD<sub>LVd1</sub>) de soja, nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m.

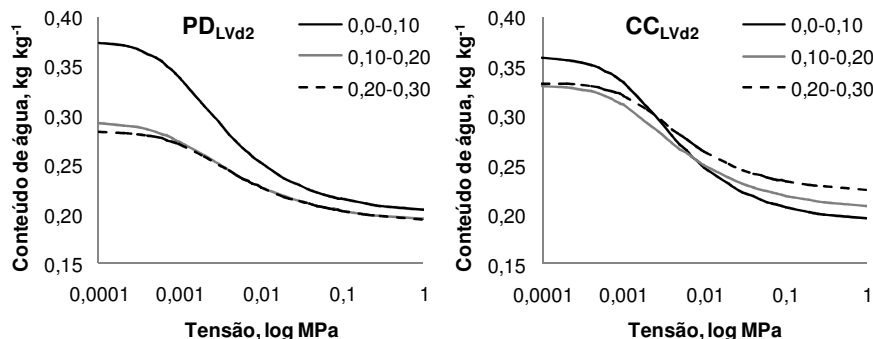




**Figura 4.** Curvas de retenção de água no Latossolo Vermelho distrófico típico, na área experimental 2 (LVd2), de textura argilosa, sob cultivo convencional (CC<sub>LVd2</sub>) e sistema de semeadura direta (PD<sub>LVd2</sub>) de soja, nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m.



**Figura 5.** Curvas de retenção de água no Latossolo Vermelho distrófico típico, na área experimental 1 (LVd1), de textura média, sob cultivo convencional (CC<sub>LVd1</sub>) e sistema de semeadura direta (PD<sub>LVd1</sub>) de milho, nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m.



**Figura 6.** Curvas de retenção de água no Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd2), de textura argilosa, sob cultivo convencional (CC<sub>LVd2</sub>) e sistema de semeadura direta (PD<sub>LVd2</sub>) de milho, nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m.

Centurion e Demattê (1985) observaram que o sistema de semeadura direta propiciou ao solo maior homogeneidade estrutural, o que resultou em maior disponibilidade de água para as plantas. Também Figueiredo et al. (2008) constataram que o solo sob sistema de semeadura direta apresentou melhores condições de armazenamento de água no solo em comparação à outros sistemas de uso e manejo, tais como cerrado nativo, cerrado recém-revolvido, pastagem reformada e pastagem degradada, em um Latossolo Vermelho argiloso. Esses pesquisadores concluíram que o revolvimento

do solo causou diminuição do conteúdo de matéria orgânica e, conseqüentemente, da capacidade de armazenamento de água no solo, corroborando os resultados obtidos neste estudo.

Com exceção da LVd1 (durante o cultivo da soja no experimento), não houve diferença entre os sistemas de manejo em relação ao índice S (Tabelas 6, 7, 8 e 9). O maior índice S, apresentado pelo CC<sub>LVd1</sub>, nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m, deve estar relacionado à maior porosidade total e macroporosidade proporcionada pelo revolvimento do solo nesse sistema (Tabela 6). Em relação às

camadas de solo analisadas, maiores valores do índice S foram encontrados nas camadas superficiais (0-0,10 m) de todos os tratamentos (PD e CC), nas

duas áreas experimentais (LVd1 e LVd2), e nos dois anos de cultivo (ciclo da soja e ciclo da cultura do milho).

**Tabela 6.** Índice S no Latossolo Vermelho distrófico típico, na área experimental 1 (LVd1), de textura média, cultivado com soja, sob cultivo convencional (CC<sub>LVd1</sub>) e sistema de semeadura direta (PD<sub>LVd1</sub>), nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m

Camada (m)	PD <sub>LVd1</sub>	CC <sub>LVd1</sub>	Média
0-0,10	0,040Ba	0,072Aa	0,056
0,10-0,20	0,023Bb	0,043Ab	0,033
0,20-0,30	0,030Aab	0,029Ac	0,029
<i>Média</i>	0,031	0,048	

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste t a 5%; letras maiúsculas referem-se à comparação de tratamentos; minúsculas comparam camadas de um mesmo tratamento.

**Tabela 7.** Índice S no Latossolo Vermelho típico, na área experimental 2 (LVd2), de textura argilosa, cultivado com soja, sob cultivo convencional (CC<sub>LVd2</sub>) e sistema de semeadura direta (PD<sub>LVd2</sub>), nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m

Camada (m)	PD <sub>LVd2</sub>	CC <sub>LVd2</sub>	Média
0-0,10	0,058	0,049	0,053a
0,10-0,20	0,039	0,042	0,041b
0,20-0,30	0,028	0,024	0,026c
<i>Média</i>	0,042 <sup>ns</sup>	0,038 <sup>ns</sup>	

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste t a 5%; letras minúsculas em itálico comparam as médias de camadas; ns= não significativo.

**Tabela 8.** Índice S no Latossolo Vermelho distrófico típico, na área experimental 1 (LVd1), de textura média, cultivado com milho, sob cultivo convencional (CC<sub>LVd1</sub>) e sistema de semeadura direta (PD<sub>LVd1</sub>), nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m

Camada (m)	PD <sub>LVd1</sub>	CC <sub>LVd1</sub>	Média
0-0,10	0,051	0,039	0,045a
0,10-0,20	0,028	0,025	0,026b
0,20-0,30	0,031	0,031	0,031b
<i>Média</i>	0,037A	0,032B	

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste t a 5%; letras maiúsculas em itálico referem-se à comparação das médias de tratamentos e minúsculas em itálico comparam as médias de camadas; ns= não significativo.

**Tabela 9.** Índice S no Latossolo Vermelho eutrófico, típico, na área experimental 2 (LVd2), de textura argilosa, cultivado com milho, sob cultivo convencional (CC<sub>LVd2</sub>) e sistema de semeadura direta (PD<sub>LVd2</sub>), nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m

Camada (m)	PD <sub>LVd2</sub>	CC <sub>LVd2</sub>	Média
0-0,10	0,043	0,042	0,042a
0,10-0,20	0,022	0,030	0,026b
0,20-0,30	0,021	0,029	0,025b
<i>Média</i>	0,029 <sup>ns</sup>	0,034 <sup>ns</sup>	

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste t a 5%; letras minúsculas em itálico comparam as médias de camadas; ns= não significativo.

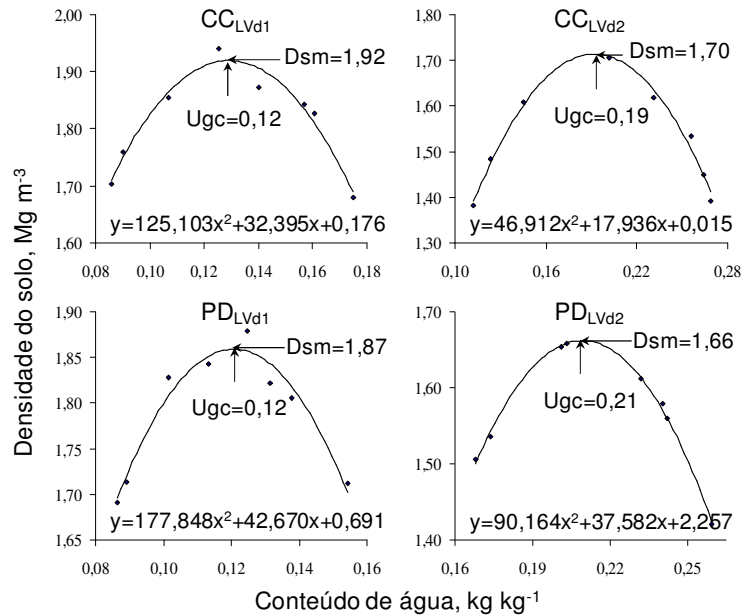
No entanto, verificou-se que, nas camadas de 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m de todos os tratamentos, com exceção das camadas de 0,10-0,20 m no CC<sub>LVd1</sub> (ciclo da cultura da soja), no PD<sub>LVd2</sub> e no CC<sub>LVd2</sub> (durante o ciclo da cultura do milho), os valores de S foram inferiores à 0,035, valor esse estipulado como sendo o limite entre solos degradados e não degradados (DEXTER, 2004 a b c). Ainda, segundo

Dexter (2004 a b c), solos que apresentem valores do índice S inferiores a 0,020 são impeditivos ao desenvolvimento radicular das plantas. Contudo, não foram verificados esses valores nas áreas e camadas analisadas neste estudo. Beutler et al. (2008) verificaram que valores de 0,056 a 0,062 do índice S foram limitantes à produtividade de soja e

milho, em um Latossolo Vermelho típico textura média.

No primeiro ano de experimento, tanto o  $PD_{LVd1}$  quanto o  $PD_{LVd2}$  foram os que apresentaram menores valores de densidade do solo máxima (Figura 7). Esse fato pode ser explicado pelo maior conteúdo de matéria orgânica, proporcionado por esse sistema, principalmente na camada superior do

solo (Tabela 1), pois, segundo Klein (2008), quanto maior é o conteúdo de matéria orgânica ou carbono orgânico no solo menor é a densidade do solo máxima, quer pelo efeito positivo na estabilidade estrutural do solo, quer pelo fato de o material orgânico apresentar baixa densidade, menor do que a dos sólidos do solo.

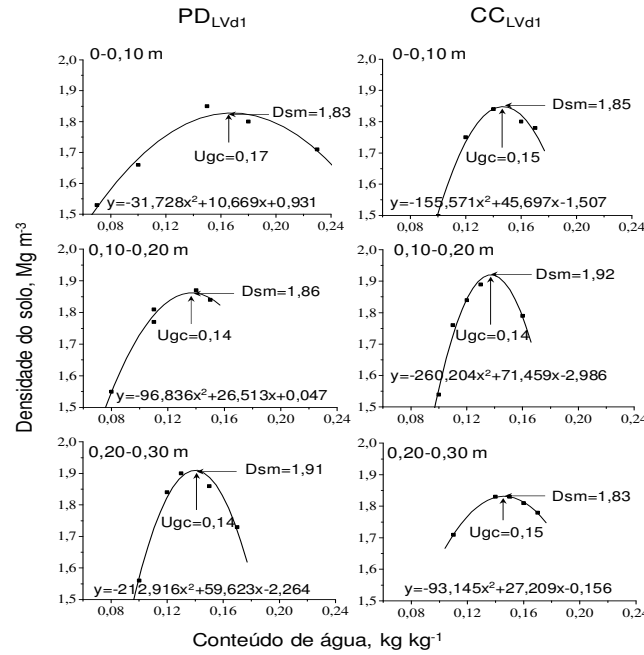


**Figura 7.** Densidade máxima do solo (Dsm) determinada pelo ensaio de Proctor nos solos cultivados com soja, sob cultivo convencional ( $CC_{LVd1}$  e  $CC_{LVd2}$ ), e sistema de semeadura direta ( $PD_{LVd1}$  e  $PD_{LVd2}$ ), no Latossolo Vermelho distrófico típico, na área experimental 1 (LVd1), de textura média e na área experimental 2, de textura argilosa, respectivamente, na camada de 0-0,30 m. Ugc representa o conteúdo de água crítico em que ocorre a máxima compactação.

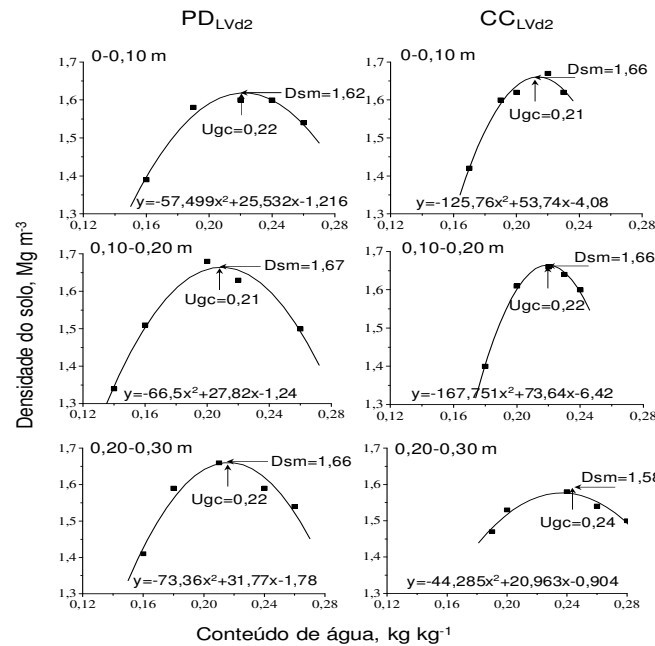
No segundo ano de experimento, também o  $PD_{LVd1}$  (camada de 0-0,10 e 0,10-0,20 m) e o  $PD_{LVd2}$  (camada de 0-0,10 m), apresentaram menores valores de densidade do solo máxima que o cultivo convencional (Figuras 8 e 9). Contudo nas camadas de 0,20-0,30 m do  $PD_{LVd1}$  e de 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m do  $PD_{LVd2}$ , essa situação é revertida e menores valores de densidade do solo máxima são encontrados no  $CC_{LVd1}$  e no  $CC_{LVd2}$ .

Com relação às camadas analisadas, no  $PD_{LVd1}$  e no  $PD_{LVd2}$ , menores valores de densidade do solo máxima foram verificadas na camada de 0-0,10 m e maiores valores foram encontrados nas camadas subjacentes. Ao contrário, no  $CC_{LVd1}$  e no  $CC_{LVd2}$  as menores densidades do solo máxima foram verificadas na camada de 0,20-0,30 m. Dessa forma, Braidá et al. (2006) avaliando a curva de

compactação em um Argissolo Vermelho-Amarelo de textura franco-arenosa ( $155 \text{ g kg}^{-1}$  de argila) e num Nitossolo Vermelho argiloso ( $787 \text{ g kg}^{-1}$ ), verificaram que o aumento do teor de carbono orgânico (de 9,3 para  $18,8 \text{ g kg}^{-1}$ ) reduz a densidade do solo máxima e aumenta a umidade necessária para atingi-la. O conteúdo de água crítico determina a umidade em que não se deve tráfegar o solo com máquinas agrícolas, pois é nessas condições em que ocorre a máxima compactação do solo. Braidá et al. (2006) observaram que a média dos valores do conteúdo de água crítico obtido a partir da variação do teor de carbono orgânico no solo foi de  $0,28 \text{ kg kg}^{-1}$  para um Nitossolo Vermelho argiloso e de  $0,11 \text{ kg kg}^{-1}$  para um Argissolo Vermelho-Amarelo de textura franco-arenosa.



**Figura 8.** Densidade máxima do solo (Dsm) determinada pelo ensaio de Proctor nos solos cultivados com milho, sob cultivo convencional (CC<sub>LVd1</sub>), e sistema de semeadura direta (PD<sub>LVd1</sub>), no Latossolo Vermelho distrófico típico, na área experimental 1 (LVd1), de textura média, nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m. Ugc representa o conteúdo de água crítico em que ocorre a máxima compactação.



**Figura 9.** Densidade máxima do solo (Dsm) determinada pelo ensaio de Proctor nos solos cultivados com milho, sob cultivo convencional (CC<sub>LVd2</sub>), e sistema de semeadura direta (PD<sub>LVd2</sub>), no Latossolo Vermelho distrófico típico, na área experimental 2 (LVd2), de textura argilosa, nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m. Ugc representa o conteúdo de água crítico em que ocorre a máxima compactação.

Menores valores de densidade do solo relativa foram verificados no CC<sub>LVd1</sub>, nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m, no primeiro ano de cultivo (Tabela 10). Entretanto, não houve diferença entre os sistemas de manejo na LVd2, em relação à esse

atributo (Tabela 11). Menores valores de densidade do solo relativa encontram-se nas camadas superiores, com exceção do PD<sub>LVd1</sub>, em que o menor valor desse atributo se encontra na camada de 0,10-0,20 m. Beutler et al. (2005) verificaram que a

densidade do solo relativa ótima para a produção de soja, em casa de vegetação, foi de 84%, em um Latossolo Vermelho eutroférico argiloso, e de 75% em um Latossolo Vermelho caulinitico de textura

média, e que, em campo, a densidade do solo relativa ótima para a soja foi de 80%, no Latossolo Vermelho eutroférico argiloso.

**Tabela 10.** Densidade do solo relativa (%) no Latossolo Vermelho distrófico típico, na área experimental 1 (LVd1), de textura média, cultivada com soja, sob cultivo convencional (CC<sub>LVd1</sub>) e sistema de semeadura direta (PD<sub>LVd1</sub>), nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m

Camada (m)	PD <sub>LVd1</sub>	CC <sub>LVd1</sub>	Média
0-0,10	76,61Bb	63,11Aa	69,86
0,10-0,20	83,63Ba	72,85Ab	78,24
0,20-0,30	79,57Aab	75,40Ab	77,48
<i>Média</i>	79,94	70,45	

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste t a 5%; letras maiúsculas referem-se à comparação de tratamentos; minúsculas comparam camadas de um mesmo tratamento.

**Tabela 11.** Densidade do solo relativa (%) no Latossolo Vermelho distrófico típico, na área experimental 2 (LVd2), de textura argilosa, cultivada com soja, sob cultivo convencional (CC<sub>LVd2</sub>) e sistema de semeadura direta (PD<sub>LVd2</sub>), nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m

Camada (m)	PD <sub>LVd2</sub>	CC <sub>LVd2</sub>	Média
0-0,10	67,31	68,90	68,11a
0,10-0,20	74,88	70,33	72,61b
0,20-0,30	79,11	75,13	77,12c
<i>Média</i>	73,77 <sup>ns</sup>	71,45 <sup>ns</sup>	

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste t a 5%; letras minúsculas em itálico comparam as médias de camadas; ns= não significativo.

No segundo ano de cultivo, não houve diferença entre os sistemas de manejo, em relação à densidade do solo relativa, tanto na LVd1, quanto na LVd2 (Tabelas 12 e 13). Contudo, Vieira e Klein (2007) observaram que o sistema de semeadura direta escarificado apresentou menor densidade do solo relativa que o sistema de semeadura direta sem

escarificação, em um Latossolo Vermelho distrófico típico, com 450 g kg<sup>-1</sup> de argila, 210 g kg<sup>-1</sup> de silte e 350 g kg<sup>-1</sup> de areia. Na LVd2, menores valores de densidade do solo relativa foram verificados nas camadas superficiais, ao contrário da LVd1, na qual não houve diferença entre as camadas estudadas.

**Tabela 12.** Densidade do solo relativa (%) no Latossolo Vermelho distrófico típico, na área experimental 1 (LVd1), de textura média, cultivada com milho, sob cultivo convencional (CC<sub>LVd1</sub>) e sistema de semeadura direta (PD<sub>LVd1</sub>), nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m

Camada (m)	PD <sub>LVd1</sub>	CC <sub>LVd1</sub>	Média
0-0,10	77,83	80,13	78,98 <sup>ns</sup>
0,10-0,20	86,17	84,90	85,53 <sup>ns</sup>
0,20-0,30	83,30	87,78	85,54 <sup>ns</sup>
<i>Média</i>	82,43 <sup>ns</sup>	84,27 <sup>ns</sup>	

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste t a 5%; ns= não significativo.

**Tabela 13.** Densidade do solo relativa (%) no Latossolo Vermelho distrófico típico, na área experimental 2 (LVd2), de textura argilosa, cultivada com milho, sob cultivo convencional (CC<sub>LVd2</sub>) e sistema de semeadura direta (PD<sub>LVd2</sub>), nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m

Camada (m)	PD <sub>LVd2</sub>	CC <sub>LVd2</sub>	Média
0-0,10	80,16	78,49	79,33a
0,10-0,20	88,94	84,96	86,95ab
0,20-0,30	89,90	88,42	89,16b
<i>Média</i>	86,33 <sup>ns</sup>	83,96 <sup>ns</sup>	

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste t a 5%; letras minúsculas em itálico comparam as médias de camadas; ns= não significativo.

No LVd2, os valores de densidade do solo relativa estiveram muito próximo ao limite de 90%, sugerido por Klein (2008). Segundo esse pesquisador, solos que apresentam valores superiores a esse constituem uma condição extremamente preocupante, pois havendo qualquer adversidade climática (falta ou excesso de

precipitação), o desenvolvimento das plantas será seriamente afetado.

Houve correlação linear significativa da resistência do solo à penetração apenas com a densidade do solo máxima, numa relação inversa (Tabela 14).

**Tabela 14.** Matriz de correlações de Pearson entre os indicadores de qualidade física do solo: resistência do solo à penetração (RP), porosidade total (PT), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), índice S (S), densidade do solo (Ds), densidade do solo máxima (Dsm) e densidade do solo relativa (Dsr)

	PT	Ma	Mi	S	Ds	Dsm	Dsr
RP	-0,03 <sup>ns</sup>	-0,11 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	-0,13 <sup>ns</sup>	-0,22 <sup>ns</sup>	-0,31*	-0,01 <sup>ns</sup>
PT	1	0,20 <sup>ns</sup>	0,81**	0,20 <sup>ns</sup>	-0,57**	-0,80**	-0,14 <sup>ns</sup>
Ma		1	-0,41**	0,64**	-0,51**	0,16 <sup>ns</sup>	-0,70**
Mi			1	-0,20 <sup>ns</sup>	-0,23 <sup>ns</sup>	-0,84**	0,28*
S				1	-0,47**	0,00 <sup>ns</sup>	-0,73**
Ds					1	0,53**	0,73**
Dsm						1	-0,03 <sup>ns</sup>

<sup>ns</sup> = não significativo; \*e\*\* Correlação significativa aos níveis de 0,05 e 0,01 de probabilidade, respectivamente.

A porosidade total obteve elevados coeficientes de correlação linear com a microporosidade, com a densidade do solo e com a densidade do solo máxima. Dessa forma, quanto maior é a porosidade total, maior é a microporosidade e menores são os valores de densidade e de densidade do solo máxima. Assim também, a macroporosidade relacionou-se linearmente à microporosidade, ao índice S, à densidade do solo e à densidade do solo relativa. Quanto maior é a macroporosidade, menor é a microporosidade, a densidade do solo e a densidade do solo relativa, ao contrário do índice S, que têm os seus valores elevados em função do aumento da macroporosidade do solo. A microporosidade apresentou coeficiente de correlação linear positivo não só com a porosidade total do solo, como também com a densidade do solo relativa, e negativos com a macroporosidade e

com a densidade do solo máxima. Conforme os coeficientes de correlação linear, o aumento nos valores do índice S está relacionado à diminuição da densidade do solo, da densidade do solo relativa e ao aumento da macroporosidade do solo.

## CONCLUSÕES

Os sistemas de manejo em cultivo convencional e sistema de semeadura direta apresentaram valores dos indicadores de qualidade física do solo adequados ao bom desenvolvimento das culturas no Latossolo Vermelho.

Dentre os sistemas de manejo, os resultados em relação aos indicadores de qualidade física do solo foram similares, a exceção para a resistência do solo à penetração das raízes, que foi maior no sistema de semeadura direta.

**ABSTRACT:** The understanding and quantification of the impact of tillage systems in their physical quality are fundamental in the development of sustainable agricultural systems. This study aimed to evaluate the quality of an Oxisol under conventional tillage (CT) and no-tillage system (NT), through different physical indicators. The management systems were: CT and NT for seven or eight consecutive years (medium textured soil) and CT and NT by nine and ten consecutive years (clay soil). Were determined, at the layers 0-0.10, 0.10-0.20; 0.20-0.30 m, soil resistance to penetration, total soil porosity, macroporosity and microporosity, soil water retention, S index, soil bulk density, maximum density and relative bulk density. Was observed great variation of soil resistance to penetration throughout the soybean and corn cycles, with its highest values were found in the surface layers. The NT showed greater resistance to penetration. Among the management systems, the results against indicators of soil physical quality were similar.

**KEYWORDS:** Soil resistance to penetration. Soil bulk density. Porosity. Soil water retention. S index.

**REFERÊNCIAS**

- ALMEIDA, C. X.; CENTURION, J. F.; FREDDI, O. S.; JORGE, R. F.; BARBOSA, J. C. Funções de pedotransferência para a curva de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2235-2243, 2008.
- ALMEIDA, C. X.; CENTURION, J. F.; JORGE, R. F.; ANDRIOLI, I.; VIDAL, A. A.; SERAFIM, R. S. Índice de floculação e agregação de um Latossolo Vermelho sob dois sistemas de colheita da cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 25, p. 123-129, 2009.
- ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma Terra Roxa Estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 24, p. 857-865, 2000.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; ROQUE, C. G.; FERRAZ, M. V. Densidade relativa ótima de Latossolos Vermelhos para a produtividade de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 843-849, 2005.
- BEUTLER, A. N.; FREDDI, O. S.; LEONEL, C. L.; CENTURION, J. F. Densidade do solo relativa e parâmetro "S" como indicadores da qualidade física para culturas anuais. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 8, p. 27-36, 2008.
- BEUTLER, A. N.; SILVA, N. L. N.; CURTI, N.; FERREIRA, M. M.; CRUZ, J. N.; PEREIRA FILHO, I.A. Resistência a penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 167-177, 2001.
- 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, p. 849-856, 2003.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. C.; LEONEL, C. L.; SÃO JOÃO, A. C. G.; FREDDI, O. S. Intervalo hídrico ótimo no monitoramento da compactação e da qualidade física de um Latossolo Vermelho cultivado com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1223-1232, 2007.
- BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Particle density. In: KLUTE, A. (ed). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. 2. ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986. Part 1, p. 377-382.
- BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; REINERT, D. J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio de Proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 605-614, 2006.
- CAMARA, R. K.; KLEIN, V. A. Propriedades físico-hídricas do solo sob plantio direto escarificado e rendimento da soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 4, p. 813-819, 2005.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PADANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 527-538, 1998.
- CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. C.; BEUTLER, A. N.; ROSSINI, L. A.; FREDDI, O. S.; SOUZA NETO, E. L. Compactação do solo no desenvolvimento e na produção de cultivares de soja. **Científica**, Jaboticabal, v. 34, p. 203-209, 2006.
- CENTURION, J. F.; DEMATTÊ, J. L. Efeitos de preparo nas propriedades físicas de um solo sob cerrado cultivado com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 9, p. 263-266, 1985.

DANIELSON, R. E.; SUTHERLAND, P. L. Porosity. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. part 1, p. 443-461.

DEXTER, A. R. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, Amsterdam, v. 120, p. 201-214, 2004a.

DEXTER, A. R. Soil physical quality: Part II. Friability, tillage, tith and hard-setting. **Geoderma**, Amsterdam, v. 120, p. 215-225, 2004b.

DEXTER, A. R. Soil physical quality. Part III: Unsaturated hydraulic conductivity and general conclusions about S-theory. **Geoderma**, Amsterdam, v. 120, p. 227-239, 2004c.

DORAN, J. W.; PARKING, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W., COLEMAN, D. C., BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (eds.) **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p. 3-21. (Special publication, 35).

DORAN, J. W., ZEISS, M. R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, Dublin, v. 15, p. 3-11, 2000.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, Brasília, Sistema de Produção de Informação, 2006. 306p.

FERREIRA, D. F. **Sisvar** 4.3. 2003. Disponível em: <http://www.dex.ufla.br/danielff/sisvar>>. Acesso em 10 jan. 2009.

FIGUEIREDO, C. C.; RAMOS, M. L. G.; TOSTES, R. Propriedades físicas e matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo e cerrado nativo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, p. 24-30, 2008.

FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; ALMEIDA, C. X. Compactação de um Latossolo Vermelho de textura argilosa afetando o sistema radicular e a produtividade do milho. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 56, p. 654-665, 2009.

FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; ARATANI, R. G.; BEUTLER, A. N. Compactação do solo e intervalo hídrico ótimo no crescimento da parte aérea e produtividade da cultura do milho. **Irriga**, Botucatu, v. 13, p. 272-287, 2008.

GEE, G. W.; BAUDER, J. W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A. (ed). **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986. part. 1. p. 383-411.

GREGORICH, E. G. Quality. In: LAL, R. (ed.). **Encyclopedia of soil science**. Marcel Dekker, Inc., New York, p. 1058-1061, 2002.

KARLEN, D. L.; STOTT, D. E. **A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality**. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (eds.) **Defining soil quality for a sustainable environment**. SSSA, Madison, 1994, p. 53-72. (Special publication, 35).

KLEIN, V. A. Densidade relativa - um indicador de qualidade física de um Latossolo Vermelho. **Revista Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 5, p. 26-32, 2006.

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



KLEIN, V. A.; VIEIRA, M. L.; DURIGON, F. F.; MASSING, J. P.; FÁVERO, F. Porosidade de aeração de um Latossolo Vermelho e rendimento de trigo em plantio direto escarificado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, p. 365-371, 2008.

KLEIN, V. A.; BASEGGIO, M.; MADALOSSO, T. Indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico típico sob plantio direto escarificado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 9, p. 2475-2481, 2009.

KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: KLUTE, A. ed. **Methods of soil analysis**. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986. part. 1, p. 635-662.

KLUTHCOUSKI, J.; FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D.; RIBEIRO, C. M.; FERRARO, L. A. Manejo do solo e o rendimento de soja, milho, feijão e arroz em plantio direto. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, p. 97-104, 2000.

LAL, R.; GREENLAND, B. J. **Soil physical properties and crop production in tropics**. Chischester, John Willey, 1979. p. 7-85.

LARSON, W. E.; PIERCE, F. J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (eds.) **Defining soil quality for a sustainable environment**. Soil Science Society of America: American Society of Agronomy, 1994. p. 37-51.

NOGUEIRA, J. B. **Mecânica dos solos**: ensaios de laboratório. São Carlos: EESC-USP, 1998. 248 p.

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; RESCK, D. V. S.; CURI, N. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, p. 291-299, 2003.

RAIJ, B. VAN; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C., eds. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas, Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).

RAIJ, B. VAN; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A., eds. **Análise química para a avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agrônomo, 2001. 285p.

RALISCH, R.; MIRANDA, T. M.; OKUMURA, R. S.; BARBOSA, G. M. C.; GUIMARÃES, M. F.; SCOPE, E.; BALBINO, L. C. Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho Amarelo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, p. 381-384, 2008.

RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O. R.; LLANILLO, R. F.; FERREIRA, R. Compactação do solo: Causas e efeitos. **Semina**, Londrina, v. 26, p. 321-344, 2005.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas 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.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; IMHOFF, S. D.; DEXTER, A. R. Quantificação da qualidade física de um Latossolo utilizando o índice S. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, p. 56-60, 2008.

VAN GENUCHTEN, M. T. A. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, p. 892-897, 1980.

VIEIRA, M. L.; KLEIN, V. A. Propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1271-1280, 2007.