



# XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo

Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas  
31 de julho à 05 de agosto - Center Convention - Uberlândia/Minas Gerais

## DETERMINAÇÃO DO INTERVALO HÍDRICO ÓTIMO DE UM LATOSSOLO VERMELHO COMPACTADO

Moacir Tuzzin de Moraes<sup>(1)</sup>; Henrique Debiassi<sup>(2)</sup>; Julio Cezar Franchini<sup>(2)</sup>; Vanderlei Rodrigues da Silva<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Estudante; Curso de Agronomia; Universidade Federal de Santa Maria, Campus de Frederico Westphalen, Linha Sete de Setembro, BR-386, Km-40, Frederico Westphalen, 98400-000, moacir.tuzzin@gmail.com; <sup>(2)</sup> Pesquisador; Manejo do Solo; Embrapa Soja, Rodovia Carlos João Strass, Distrito de Warta, Caixa Postal 231, CEP 86001-970, Londrina/PR, debiasi@cnpso.embrapa.br, franchin@cnpso.embrapa.br <sup>(3)</sup> Professor, Departamento de Agronomia, UFSM, campus de Frederico Westphalen; Linha Sete de Setembro, BR-386, Km-40, Frederico Westphalen, 98400-000, vanderlei.1974@gmail.com

**Resumo** – O tráfego de máquinas provoca camadas compactadas que podem interferir no desenvolvimento das plantas. O objetivo deste estudo foi determinar o Intervalo Hídrico Ótimo (IHO) para um Latossolo Vermelho distroférico cultivado sob sistema plantio direto (SPD) por 15 anos. Os tratamentos consistiram em escarificação do solo para diminuir o estado atual de compactação, SPD contínuo e SPD com compactação adicional provocada pelo tráfego de uma colhedora de 10,28 Mg de massa com quatro, oito, dez e vinte passadas, totalizando seis tratamentos com quatro repetições no delineamento inteiramente casualizado. Os resultados mostraram que a densidade do solo crítica (Dsc), onde o IHO é nulo, foi de 1,32 Mg m<sup>-3</sup> na camada de 5,5-10,5 cm e de 1,27 Mg m<sup>-3</sup> na camada de 13,5-18,5 cm de profundidade. Para todos os valores de densidade do solo abaixo da Dsc, o limite superior do IHO correspondeu ao conteúdo de água ( $\theta_v$ ) na capacidade de campo, enquanto que o limite inferior foi determinado pela  $\theta_v$  abaixo da qual a resistência do solo à penetração (RP) atinge o valor crítico, equivalente a 2 MPa. A estimativa da RP pelo modelo de Busscher (1990) correlacionou significativamente com os dados observados em todos os estados de compactação.

**Palavras-Chave:** água disponível; resistência à penetração; densidade do solo; tráfego de máquinas agrícolas.

### INTRODUÇÃO

A compactação do solo é o processo de redução de volume (compressão) de um solo não saturado por causas de natureza antropogênica, com consequente aumento de sua densidade (Ds) e redução da porosidade. Vários atributos físicos têm sido utilizados para caracterizar o estado de compactação do solo, tais como, a Ds, porosidade total e macroporosidade, resistência mecânica do solo à penetração (RP), capacidade de infiltração de água e condutividade hidráulica. Porém, há a necessidade de relacionar a resposta das plantas com o estado de compactação e com a variação do conteúdo de água no solo ( $\theta_v$ ), haja vista que as plantas sofrem sazonalidades de excesso e

falta de água durante o seu ciclo.

Com o intuito de gerar um indicador de qualidade estrutural do solo diretamente relacionado com o desenvolvimento das plantas, Silva et al. (1994) propuseram o conceito de “Least Limiting Water Range” (LLWR). A designação LLWR foi traduzida para o português e empregada como Intervalo Hídrico Ótimo (IHO) por Tormena et al. (1998). Segundo os mesmos autores, o IHO é definido como sendo a faixa de conteúdo de água do solo menos limitante ao desenvolvimento das culturas. O IHO integra os efeitos de três indicadores de qualidade física do solo sobre o crescimento das plantas (porosidade de aeração, água disponível às plantas, e RP) em função de uma única variável, a Ds. A faixa de  $\theta_v$  que representa o IHO é definida por um limite superior, que pode ser o  $\theta_v$  na capacidade de campo (CC) ou o  $\theta_v$  no qual a porosidade de aeração atinge um valor menor que 10%, e por um limite inferior, equivalente ao  $\theta_v$  no ponto de murcha permanente ou ao  $\theta_v$  no qual a RP atinge um valor crítico (2 MPa).

O estado de compactação do solo interfere na dinâmica da água e no período em que o solo apresenta-se em condições físicas inadequadas ao crescimento das plantas. O objetivo deste trabalho foi determinar o IHO em diferentes estados de compactação de um Latossolo Vermelho distroférico, cultivado sob SPD.

### MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na Fazenda Experimental da Embrapa Soja, localizada no município de Londrina/PR (23° 11' S e 51° 11' W). O solo da área experimental, cultivado em sistema plantio direto (SPD) por 15 anos, é classificado como Latossolo Vermelho distroférico (LVDF), com teores médios de 731 g kg<sup>-1</sup> de argila, 146 g kg<sup>-1</sup> de silte e 123 g kg<sup>-1</sup> de areia na camada de 0–20 cm, enquadrando-se na classe textural muito argilosa.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram em: SPD escarificado (SPDE); SPD sem compactação adicional (SPDNC); e SPD com compactação adicional pelo tráfego de uma colhedora autopropelida de grãos, em quatro diferentes níveis, representados por: 4 (SPDC4); 8 (SPDC8); 10 (SPDC10) e 20 (SPDC20) passadas. A colhedora de grãos utilizada para

estabelecer os diferentes níveis de compactação apresentava uma massa total de 10,28 Mg e pressão de contato do pneu com o solo de 0,23 MPa. A escarificação foi realizada por meio de um escarificador de cinco hastas até a profundidade de 30 cm.

Logo após a aplicação dos tratamentos, foram coletadas, em cada tratamento, vinte amostras indeformadas de solo nas camadas de 5,5 a 10,5 e 13,5 a 18,5 cm, com o centro do cilindro nas profundidades de 8 cm e 16 cm. Para a coleta, foram utilizados cilindros de aço com 5 cm de altura e 5 cm de diâmetro interno, totalizando cerca de 100 cm<sup>3</sup> de volume. Visando à obtenção de diferentes  $\theta_v$  para a determinação da curva de retenção de água (CRA) e da curva de resistência do solo (CRS), as amostras foram saturadas e equilibradas às tensões de 0,006; 0,01; 0,033; 0,1 e 0,5 MPa.

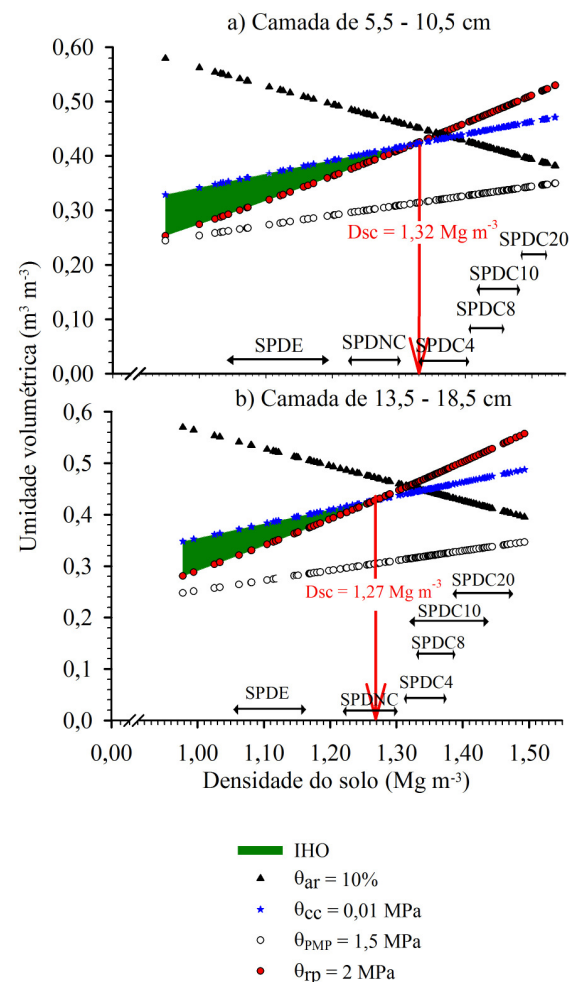
O cálculo do IHO foi realizado conforme descrito em Tormena et al. (1998). Para o limite inferior do IHO, foi utilizado o  $\theta_v$  na tensão de 1,5 MPa, equivalente ao PMP ( $\theta_{PMP}$ ) ou o  $\theta_v$  onde a RP atinge 2 MPa ( $\theta_{rp}$ ). O limite superior correspondeu ao  $\theta_v$  na tensão de 0,01 MPa, equivalente à CC ( $\theta_{cc}$ ) ou à porosidade de aeração de 10% ( $\theta_{ar}$ ). O valor da densidade do solo crítica (Dsc) foi obtido a partir da interseção dos limites inferior e superior do IHO, no qual este é igual a zero. Para o cálculo da porosidade de aeração em cada Ds, a porosidade total foi determinada utilizando-se o valor de densidade da partícula de 2,96 Mg m<sup>-3</sup>, obtida pelo método do balão volumétrico, correspondendo à média de 24 amostras coletadas em cada camada analisada. A determinação do  $\theta_{cc}$  e  $\theta_{PMP}$  para cada valor de Ds foi realizada mediante a relação matemática dessa variável com a CRA, utilizando-se a equação descrita por Leão et al. (2004). A RP foi determinada utilizando um penetrômetro eletrônico de bancada com velocidade de inserção de 20 mm min<sup>-1</sup> e cone de 4 mm de diâmetro da base, conforme descrito por Tormena et al. (1998). A CRS foi obtida ajustando-se os dados de RP ao  $\theta_v$  e à Ds, por meio do modelo não-linear sugerido por Busscher (1990). A Ds foi determinada conforme Embrapa (1997).

Os ajustes da CRA e CRS foram realizados através da rotina "PROC NLIN", do módulo de estatística do programa Statistical Analysis System (SAS Institute, 1999). As equações de ajuste da RP foram submetidas à análise da variância (teste F, p<0,01), e os gráficos foram plotados por meio do programa SigmaPlot® 10.0 (Systat software, Inc.).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 foi obtida plotando os limites inferior e superior do IHO em um mesmo sistema de coordenadas x e y, onde o eixo x representa a Ds (Mg m<sup>-3</sup>), e o eixo y, a  $\theta_v$  (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>). Ela representa a variação do  $\theta_v$  nos limites críticos definidos por  $\theta_{PMP}$ ,  $\theta_{rp}$ ,  $\theta_{cc}$  e  $\theta_{ar}$  em função da Ds. O IHO é representado pela área colorida no gráfico, tendo sido definido em seu limite superior pelo  $\theta_{cc}$ , e em seu limite inferior pelo  $\theta_{rp}$ . O valor de Ds, em que ocorre a intersecção das linhas

relativas ao limite superior ( $\theta_{cc}$ ) e inferior ( $\theta_{rp}$ ), torna o IHO igual a zero e é denominado de Ds crítica (Dsc). Para este Latossolo Vermelho, na camada de 5,5-10,5 cm, a Dsc foi de 1,32 Mg m<sup>-3</sup>, demonstrando que valores de Ds inferiores a este limite não restringem o desenvolvimento das plantas (Figura 1A). Na camada de 13,5-18,5 cm, a Dsc foi inferior à observada na camada de 5,5-10,5 cm, correspondendo a 1,27 Mg m<sup>-3</sup> (Figura 1B). A diminuição do IHO e da Dsc nesta camada é devido ao aumento da inclinação da curva de RP vs Ds e  $\theta_v$ .



**Figura 1.** Intervalo hídrico ótimo (IHO) de um Latossolo Vermelho distroférrico, nas camadas de 5,5-10,5 cm (A) e de 13,5-18,5 cm (B), determinado pela variação do conteúdo de água com a densidade do solo nos níveis críticos da capacidade de campo ( $\Psi_l = 0,01$  MPa), ponto de murcha permanente ( $\Psi_p = 1,5$  MPa), porosidade de aeração de 10% e resistência à penetração de 2 MPa. A densidade crítica (Dsc), onde o IHO = 0, é indicada pela seta vertical. As setas horizontais correspondem à média dos valores da densidade do solo  $\pm$  um desvio padrão para cada um dos tratamentos: sistema plantio direto escarificado (SPDE); SPD sem compactação adicional (SPDNC); e SPD compactado adicionalmente, com 4 (SPDC4), 8 (SPDC8), 10 (SPDC10) e 20 (SPDC20) passadas de uma colhedora de 10,28 Mg.

Silva (2003) encontrou a Dsc de  $1,40 \text{ Mg m}^{-3}$  para um Latossolo Vermelho distroférico com teor de argila de  $600 \text{ g kg}^{-1}$  na camada superficial. Entretanto, Petean et al. (2010), e Tormena et al. (2007), trabalhando em um Latossolo Vermelho distroférico com teores de argila de  $850 \text{ g kg}^{-1}$  e  $870 \text{ g kg}^{-1}$ , respectivamente, encontraram valores de  $1,26 \text{ Mg m}^{-3}$  e  $1,30 \text{ Mg m}^{-3}$ , demonstrando que a Dsc é reduzida com o aumento do teor de argila. Torres & Saraiva (1999), trabalhando no mesmo Latossolo utilizado no presente estudo, concluíram que, em safras com deficiências hídricas, a Ds crítica para a soja na camada de 8-16 cm foi de  $1,27 \text{ Mg m}^{-3}$ , corroborando com o valor de Dsc determinado pelo IHO.

A amplitude total de variação do IHO foi de 0 até  $0,076 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  na camada de 5,5-10,5 cm (Figura 1A). O  $\theta_{cc}$  aumentou com a Ds, comportamento também observado por Leão et al. (2004) em Latossolo de textura média e por Petean et al. (2010) em um Latossolo argiloso. Com o aumento da Ds, observa-se que ocorre um acréscimo no  $\theta_{PMP}$ , sendo este atribuído ao aumento do número de partículas disponíveis para a retenção de água por unidade de volume de solo, decorrente do processo de compactação (Van den Berg et al., 1997). Porém, a  $\theta_{PMP}$ , em nenhum momento, determinou o limite inferior do IHO, demonstrando que para este solo, o limite inferior corresponde ao  $\theta_{tp}$ .

Os tratamentos foram plotados na Figura 1 de forma a apresentar os valores médios da Ds  $\pm$  um desvio padrão, representados pelas setas horizontais. Com isso, pode-se identificar o intervalo de confiança para cada tratamento, possibilitando o posicionamento dos mesmos em relação ao IHO. Em ambas as camadas amostradas, observa-se a alteração da estrutura do solo em função do tráfego, com o aumento da Ds e redução do IHO (Figura 1).

De acordo com a Figura 2, verifica-se que os tratamentos SPDE e o SPDNC não apresentaram nenhuma amostra de solo com Ds maior do que a Dsc ( $1,32 \text{ Mg m}^{-3}$ ) na camada de 5,5-10,5 cm. Apesar disso, é importante destacar que, nas parcelas sob SPDNC, os valores de  $\theta_v$  entre os limites superior ( $0,40 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) e inferior ( $0,37 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) são bastante próximos, ou seja, com pequenas variações no  $\theta_v$ , o solo já estaria fora dos limites críticos do IHO. Na camada de 13,5-18,5 cm, todas as amostras coletadas no SPDE apresentaram valores de Ds inferiores à Dsc. Porém, 27,5% das amostras referentes ao SPDNC apresentaram valores de Ds acima da Dsc.

Quando o solo sob SPD foi trafegado quatro vezes com uma colhedora de 10,28 Mg e pressão de contato do pneu com o solo de 0,23 MPa, ocorreu o aumento da Ds, de forma que 90% das amostras coletadas na camada de 5,5-10,5 cm apresentaram um valor superior ao da Dsc (Figura 2). Nesse mesmo tratamento, a Ds de todas as amostras extraídas da camada de 13,5-18,5 cm foi maior que a Dsc. Os demais tratamentos com compactação adicional pelo tráfego da colhedora, em ambas as profundidades, resultaram em valores de Ds superiores à Dsc. Assim, observa-se que quatro passadas de uma colhedora de 10,28 Mg foram suficientes para compactar o solo de

tal forma a restringir o desenvolvimento radicular das culturas, tanto nesta camada, quanto em camadas inferiores.

A estimativa da RP pelo modelo proposto por Busscher (1990) apresentou uma correlação significativa ( $p < 0,01$ ), através do teste F (ANOVA), com os valores de RP observados no campo, para todos os tratamentos (Figura 3). Desta forma, a estimativa da RP pelo modelo de Busscher (1990), foi satisfatória em ambas as camadas, embora tenha ocorrido uma menor dispersão dos dados nos valores baixos de RP comparados aos valores mais elevados, principalmente na camada de 13,5-18,5 cm (Figura 3B).

## CONCLUSÕES

1- A compactação adicional causa alterações significativas na estrutura do solo manejado sob sistema plantio direto, de modo que quatro passadas de uma colhedora com massa de 10,28 Mg é suficiente para compactar o Latossolo Vermelho estudado a níveis críticos às plantas.

2- O IHO torna-se nulo na Dsc de  $1,32 \text{ Mg m}^{-3}$  para a camada de 5,5-10,5 cm e de  $1,27 \text{ Mg m}^{-3}$  na camada de 13,5-18,5 cm.

3- O limite superior do IHO é o  $\theta_{cc}$  e o limite inferior é o  $\theta_{tp}$ , em toda a amplitude de Ds.

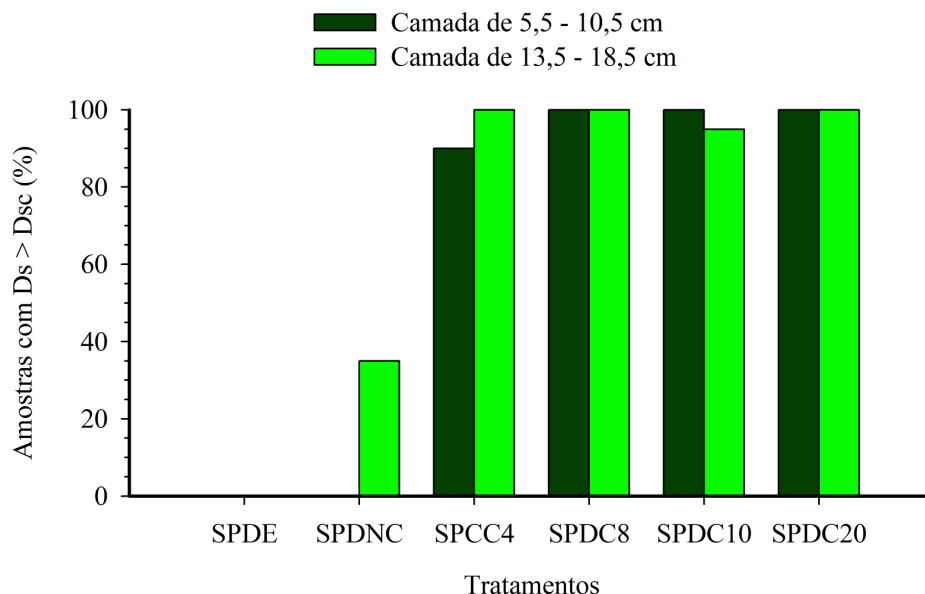
4- O modelo de Busscher (1990) é adequado para estimar RP a partir da Ds e  $\theta_v$ , para os diferentes estados de compactação.

## REFERÊNCIAS

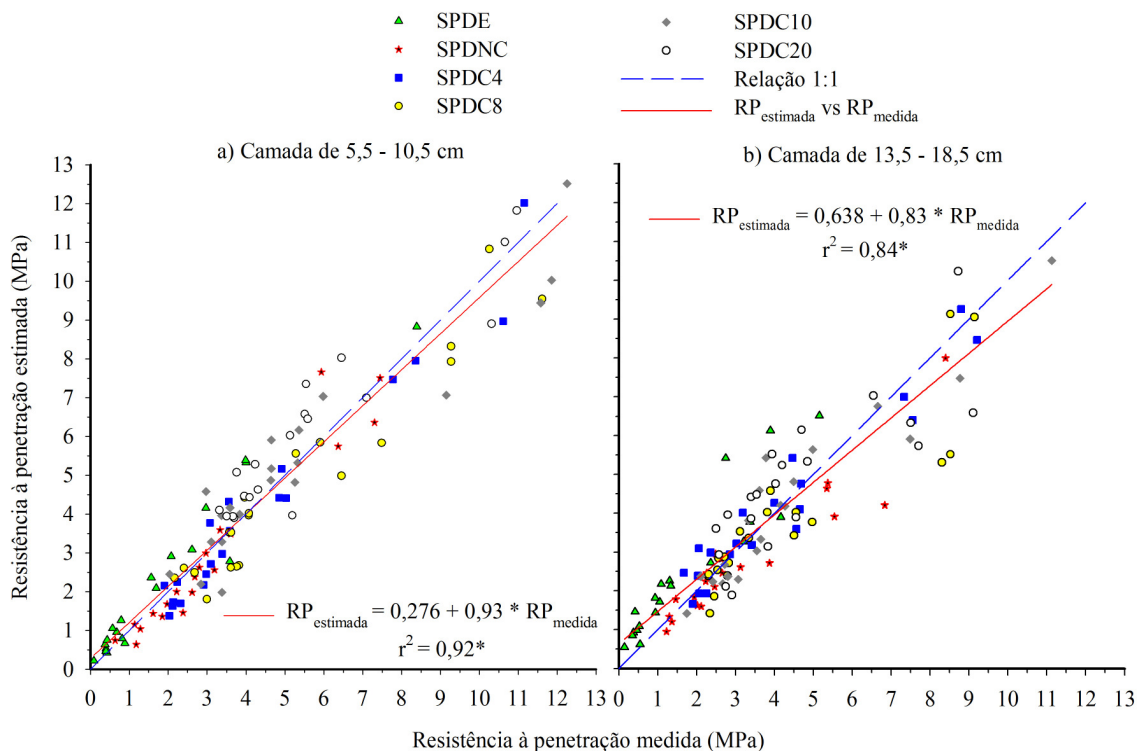
- BUSSCHER, W. J. Adjustment of flat-tipped penetrometer resistance data to a common water content. *Am. Soc. Agric. Eng.*, 33:519-524, 1990.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p. (Embrapa-CNPQ. Documentos, 1)
- LEÃO, T. P.; SILVA, A. P.; MACEDO, M. C. M.; IMHOFF, S. & EUCLIDES, V. P. B. Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:415-423, 2004.
- PETEAN, L.P.; TORMENA, C.A. & ALVES, S.J. Intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto em sistema de integração lavoura-pecuária. *R. Bras. Ci. Solo*, 34:1515-1526, 2010.
- SAS INSTITUTE - Statistical Analysis System. SAS/STAT User's Guide 8.0. North Caroline, NC: SAS Institute Inc., 1999.
- SILVA, A.P., KAY, B.D. & PERFECT, E.. Characterization of the least limiting water range. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58:1775-1781, 1994.
- SILVA, V.R. Propriedades físicas e hídricas em solos sob diferentes estados de compactação. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2003. 171p. (Tese de Doutorado).
- TORRES, E. & SARAIA, O. F. Camadas de impedimento mecânico do solo em sistemas agrícolas com a soja. Londrina: Embrapa Soja, 1999. 58p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 23).
- TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. & LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:573-581, 1998.
- TORMENA, C.A.; ARAUJO, M.A.; FIDALSKI, J. & COSTA, J.M. Variação temporal do intervalo hídrico ótimo de um

Latossolo Vermelho distroférico sob sistemas de plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 31:211-219, 2007.  
van den BERG, M; KLAMT, E.; van REEUWIJK, L.P. &

SOMBROEK, W.G. Pedotransfer functions for the estimation of moisture retention characteristics of Ferralsols and related soil. Geoderma, 78:161-180, 1997.



**Figura 2.** Percentagem das amostras com densidade do solo (Ds) maior do que a densidade do solo crítica (Dsc) nos diferentes tratamentos, em Latossolo Vermelho distroférico. Tratamentos: sistema plantio direto escarificado (SPDE); SPD sem compactação adicional (SPDNC); e SPD compactado adicionalmente, com 4 (SPDC4), 8 (SPDC8), 10 (SPDC10) e 20 (SPDC20) passadas de uma colhedora de 10,28 Mg.



**Figura 3.** Relação da resistência do solo à penetração (RP) estimada pelo modelo de Busscher (1990) e a RP medida, para as camadas de 5,5-10,5 e 13,5-18,5 cm, em Latossolo Vermelho distroférico. Tratamentos: sistema plantio direto escarificado (SPDE); SPD sem compactação adicional (SPDNC); e SPD compactado adicionalmente, com 4 (SPDC4), 8 (SPDC8), 10 (SPDC10) e 20 (SPDC20) passadas de uma colhedora de 10,28 Mg. \*equações significativas pelo teste F ao nível de 1 % de significância.