

**PROPRIEDADES FÍSICO-HÍDRICAS, DESENVOLVIMENTO RADICULAR E
PRODUTIVIDADE DA SOJA EM DOIS TIPOS DE MANEJOS DE SOLO
PHYSICAL-HYDRIC PROPERTIES, ROOT DEVELOPMENT AND IRRIGATED
SOYBEAN YIELD IN TWO TYPES OF DIFFERENT SOIL MANagements**

**MARCELO AUGUSTO DE AGUIAR E SILVA¹; LEONARDO PRETTO DE AZEVEDO²;
JOÃO CARLOS CURY SAAD³ E ROGER NABEYAMA MICHELS⁴**

¹Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR, aguiaresilva@uel.br

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Campus São Roque. Rod. Prefeito Quintino de Lima 2100, São Roque, SP, pretto@ifsp.edu.br

³Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, joaosaad@fca.unesp.br

⁴Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Apucarana. Rua Marcílio Dias, 635, Apucarana, PR, rogermichels@utfpr.edu.br

1 RESUMO

A cultura da soja (*Glycine Max* L.) faz parte da rotação de culturas praticadas pelos irrigantes do sudoeste paulista, os quais praticam o plantio direto como forma de uso sustentável do solo. O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito dessa prática conservacionista sobre as propriedades físico-hídricas do solo, sobre sua compactação, sobre o desenvolvimento radicular e sobre a produtividade da cultura da soja, comparativamente com o preparo convencional. O experimento foi conduzido na Fazenda Buriti-Mirim, município de Angatuba, SP (23°30'13" S, 48°35'37" W; 640m), durante o segundo semestre de 2003, utilizando uma área de Argissolo Acinzentado irrigada por pivô central, dividida em dois tipos de manejo do solo preparo convencional e plantio direto. Embora no plantio direto tenha-se encontrado maior densidade do solo, menor quantidade de água disponível e menor resistência do solo à penetração, os dois manejos não diferiram quanto ao desenvolvimento radicular e a produtividade da soja.

Palavras-Chave: Plantio Direto. Raiz. Água Disponível. Resistência do Solo à Penetração.

**AGUIAR E SILVA, M. A. de; de AZEVEDO, L. P.; SAAD, J. C. C.; MICHELS, R. N.
PHYSICAL-HYDRIC PROPERTIES, ROOT DEVELOPMENT AND IRRIGATED
SOYBEAN YIELD IN TWO TYPES OF SOIL MANAGEMENT**

2 ABSTRACT

The soybean culture is part of crop rotation used by irrigators from the southwestern region of São Paulo State that perform no-tillage soil management as a form of sustainable soil use. The objective of this work was to evaluate the effect of this conservationist practice on physical-hydric properties, soil compaction, root development, and soybean culture production

components in relation to the conventional management. The experiment was conducted at the Buriti-Mirim Farm, Angatuba, SP, in Brazil, using an area irrigated by a center pivot system divided into two types of soil management: conventional and no-tillage. Although the no-tillage management presented higher soil density, lower water available and lower soil resistance to penetration, both soil managements showed no difference in relation to root development.

Keywords: Root, Soil water retention, No-tillage Management.

3 INTRODUÇÃO

O uso indiscriminado de práticas erradas de manejo do solo tem desencadeado sérios problemas na agricultura. As práticas convencionais de manejo acentuam os problemas de compactação, alteram as forças de retenção de água no solo e sua disponibilidade para as plantas (Beutler et al., 2003; Silva et al., 2005; Roque et al., 2011), bem como restringem o aprofundamento do sistema radicular, concentrando-o próximo a superfície (Gonçalves et al., 2006).

O plantio direto é uma alternativa para evitar tais efeitos indesejáveis, entretanto, nos primeiros anos de implantação, normalmente o solo apresenta densidade elevada (Bescansa et al., 2006; Moret & Arrue, 2007; Cunha et al., 2011) causada pelo tráfego e consolidação natural pelo não revolvimento (Silveira Neto et al., 2006) o que afeta a retenção de água no mesmo (Bescansa et al., 2006).

O efeito do manejo sobre as propriedades físico-hídricas do solo depende não apenas da classe de solo, mas também do tempo de uso dos diferentes sistemas (Costa et al., 2003). A maioria dos trabalhos mostra maior retenção de água pelo solo no plantio direto (Bescansa et al., 2006; Vita et al., 2007; Dalmago et al., 2009), entretanto, Shukla et al. (2003) observaram retenção superior no preparo convencional.

A quantidade de água disponível para a cultura depende da profundidade do sistema radicular (Manfron et al., 2003) e em condições normais de cultivo, a soja apresenta aproximadamente 70 a 80% das raízes distribuídas nos primeiros 15 cm do solo (Gregory, 1992).

De acordo com Freddi et al. (2006), a resistência mecânica do solo à penetração exerce grande influência sobre o desenvolvimento vegetal, pois quanto maior seu valor menor será o crescimento das raízes e a produtividade das culturas.

Silva et al. (2002) constataram que 2,0 MPa de resistência à penetração do solo foi condição restritiva ao crescimento das raízes e da parte aérea das culturas. Secco (2003), estudando compactação em plantio direto, verificou que valores de resistência à penetração de 2,65 e 3,26 MPa não propiciaram decréscimos na produtividade da soja. Silva et al. (2005) observaram que o plantio direto apresentou maior resistência ao penetrômetro em profundidade, em relação ao preparo convencional. A resistência à compactação subsuperfície de até 1,98 MPa não diminuiu a produção total de raízes da soja, apesar de ter alterado a distribuição do sistema radicular ao longo do perfil (Foloni et al., 2006). Cardoso et al. (2006), concluíram que a presença de camadas mais compactas no perfil do solo não alterou a produção de grãos devido à adequada disponibilidade hídrica durante o período avaliado, do mesmo modo que Giarola et al. (2009), constataram que as variáveis de produção das cultivares de soja não foram influenciadas pelos diferentes níveis de compactação do solo.

No sudoeste do Estado de São Paulo há uma grande área de culturas anuais irrigadas por pivô central, basicamente cereais, na qual o plantio direto é adotado como forma de uso sustentável do solo e da água. Entretanto, ainda não foram quantificadas as mudanças estruturais no solo e as conseqüentes alterações promovidas por este manejo nas propriedades físico-hídricas, compactação e desenvolvimento radicular das culturas.

Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi avaliar como dois diferentes sistemas de manejo, utilizados pelos agricultores irrigantes do sudoeste paulista, interferem na quantidade de água disponível, na compactação do solo, no desenvolvimento radicular e na produtividade da cultura da soja, irrigada via pivô central.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado e conduzido numa área de Argissolo Acinzentado (Embrapa 2006) de 37 ha irrigados via pivô central, dividida em dois tipos de manejo do solo (dois meios círculos), preparo convencional e plantio direto, na Fazenda Buriti-Mirim, município de Angatuba, SP (latitude 23°30'13" S, longitude 48°35'37" W; altitude média de 640m), durante o segundo semestre de 2003. Utilizou-se a cultura da soja (*Glycine Max* L.), variedade Monsoy 5942, semeada em 25 de setembro e colhida em 15 de janeiro de 2004, totalizando 113 dias de ciclo da cultura.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com dois tratamentos: plantio direto e preparo convencional, com 13 parcelas cada. As médias dos resultados obtidos foram comparadas pelo teste t de Student a 5% de probabilidade.

O preparo convencional foi realizado mediante o uso de arado e grade, sendo realizada uma única passagem de cada implemento, enquanto o plantio direto se caracterizou pela semeadura realizada sob os restos da cultura anterior, sem revolvimento do solo. Utilizou-se a denominação plantio direto, entretanto a parcela sem revolvimento não caracteriza um sistema de plantio direto contínuo, uma vez que periodicamente são realizadas operações de preparo do solo para eliminação da soqueira do algodão e subsolagem para eliminação das camadas compactadas e redistribuição dos nutrientes no perfil do solo (Tabela 1).

Tabela 1. Rotação de culturas segundo a programação de plantio

2001		2002		2003	
1º semestre	2º semestre	1º semestre	2º semestre	1º semestre	2º semestre
Trigo	Algodão	Aveia	Feijão	Trigo	Soja

Antes da instalação do experimento foram coletadas amostras não formada de solo com o auxílio de anéis volumétricos, nas profundidades de 0-0,05 m; 0,05-0,10 m; 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m, nas duas condições de manejo do solo, para obtenção de sua curva característica de retenção de água e a realização da análise física do solo. As amostras foram encaminhadas para os Laboratórios de Física dos Solos do Departamento de Recursos Naturais, da Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu. Visando caracterizar a retenção de água do solo, com valores correspondentes em potencial de água no solo, efetuou-se a determinação da curva característica de retenção de água. Utilizou-se o programa computacional Soil Water Retention

Curve – SWRC (Dourado Neto et al., 1990) para ajustar matematicamente os dados ao modelo não linear proposto por Van Genuchten (1980).

Para a determinação da resistência mecânica do solo à penetração (RSP), foi utilizado um penetrômetro hidráulico-eletrônico, de acordo com Lanças & Santos Filho (1998). O penetrômetro hidráulico-eletrônico, montado sobre uma carreta para transporte rodoviário e aplicação em tratores com sistema hidráulico, apresenta um cone com área da base de 320 mm², ângulo sólido de 30° e velocidade constante de penetração no solo de 30 mm s⁻¹ conforme ASAE S313.2 (1991). O sistema eletrônico possui um sistema de aquisição de dados (Microlloger 23X, Campbell), sensor de força (célula de carga de 10000 N) e sensor de profundidade (potenciômetro rotativo). As profundidades para determinação da RSP foram de 0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, na condição de preparo convencional e no plantio direto.

O desenvolvimento radicular foi avaliado quando 50% das plantas encontravam-se em pleno florescimento, e sua amostragem foi realizada utilizando-se um trado de aço galvanizado com diâmetro de 4,5cm. A coleta de solo para a análise de raízes ocorreu nos dias 24 e 25 de novembro de 2003, em quatro camadas (0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m). As amostras foram retiradas na linha de plantio, entre plantas, com quatro repetições por parcela, totalizando 52 amostras de cada camada por tratamento. Posteriormente, as raízes foram separadas do solo por lavagem em água corrente, com auxílio de uma peneira de 0,5 mm. As amostras de raízes, depois de lavadas e separadas, foram acondicionadas em coletores universais com solução de álcool 70% e levadas à geladeira a uma temperatura de 4 °C.

As variáveis que caracterizam o desenvolvimento radicular foram determinadas em um Scanner acoplado a um computador dotado do Software WinRhizo, que utiliza como princípio o método proposto por Tennant (1975). Nesse equipamento determinou-se o comprimento (Km m⁻³), a superfície (m² m⁻³) e o diâmetro radicular (cm). Após essas avaliações as amostras foram secas em estufa a 65 °C, até atingirem peso constante, para a determinação da produção de matéria seca radicular (g m⁻³).

Por ocasião da colheita da cultura da soja, foram coletadas 10 plantas seqüenciais em local pré-determinado na área útil de cada parcela, totalizando 130 amostras por tratamento. Essas plantas foram levadas para laboratório para determinação dos seguintes parâmetros: número de grãos por planta, número de vagens por planta, número de grãos por vagem e massa de 1000 grãos (g) por parcela.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 apresenta-se os valores de capacidade de campo (CC) em cm³ cm⁻³, ponto de murcha permanente (PMP) em cm³ cm⁻³, água disponível (AD) em mm cm⁻¹, densidade (Ds) em g cm⁻³ e textura em diferentes camadas de solo para os manejos preparo convencional (PC) e plantio direto (PD). O plantio direto apresentou maiores valores de densidade do solo para todas as camadas avaliadas, corroborando com (Bescansa et al., 2006; Moret & Arrue, 2007; Cunha et al., 2011). Seu aumento está relacionado ao não revolvimento do solo e à movimentação de máquinas e implementos agrícolas, que possivelmente fizeram com que o solo apresentasse menor macroporosidade, aumentando assim sua densidade (Silveira Neto et al., 2006).

As diferenças de densidade entre os manejos afetaram a retenção de água no solo. O preparo convencional, com solo menos denso, apresentou maior quantidade de água disponível

em suas camadas mais superficiais, de 0-0,05 e de 0,05-0,10 m, discordando de Bescansa et al. (2006); Vita et al. (2007); Dalmago et al. (2009) e concordando com Shukla et al. (2003). Como a magnitude do efeito do sistema de manejo sobre as propriedades físico-hídricas do solo depende, entre outros fatores, do tempo de adoção do manejo (Costa et al., 2003), este pode não ter sido suficiente para promover mudanças estruturais no solo em plantio direto, e conseqüentemente, aumentar a água armazenada e disponível às plantas, deixando claro que os sistemas de manejo adaptam-se diferentemente a cada região e a sua condição edafoclimática particular.

Tabela 2. Umidades correspondentes à capacidade de campo (CC) em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, ponto de murcha permanente (PMP) em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, água disponível (AD) em mm cm^{-1} , densidade (Ds) em g cm^{-3} e textura em diferentes camadas de solo para os manejos preparo convencional (PC) e plantio direto (PD)

Manejo de solo	Camada (m)	CC ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	PMP ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	AD (mm cm^{-1})	Ds (g cm^{-3})	Textura
PC	0-0,05	0,2136	0,0897	1,24	1,56	Média
	0,05-0,10	0,2029	0,1000	1,03	1,62	Arenosa
	0,10-0,20	0,2510	0,1600	0,91	1,65	Média
	0,20-0,40	0,2162	0,1114	1,05	1,54	Arenosa
Média		0,2209	0,1153	1,06	1,59	
PD	0-0,05	0,1807	0,0824	0,98	1,65	Arenosa
	0,05-0,10	0,1891	0,0934	0,96	1,67	Média
	0,10-0,20	0,1849	0,0839	1,01	1,69	Arenosa
	0,20-0,40	0,1948	0,1068	0,88	1,55	Arenosa
Média		0,1874	0,0916	0,96	1,64	

Sendo a resistência do solo à penetração a propriedade que melhor caracteriza e diferencia os sistemas de manejo (Reichert et al., 2009), esta caracteriza melhor a resistência do solo à penetração das raízes quando comparado com a densidade.

Os maiores valores de RSP foram encontrados no preparo convencional (Tabela 3), discordando de Silva et al. (2005). Esses valores estão relacionados à técnica de preparo do solo, onde as ferramentas utilizadas acabaram por transferir seu peso ao subsolo, na profundidade média de trabalho. As camadas de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m apresentaram os maiores valores de RSP, evidenciando alteração na profundidade do “pé de grade ou pé de arado”, devido a problemas na regulagem da profundidade efetiva de trabalho.

Tabela 3. Valores de RSP (MPa) e teor de água das amostras no momento da coleta de dados, para as condições de plantio direto (PD) e preparo convencional (PC) nas diferentes camadas de solo avaliadas

Camada (m)	RSP (MPa)		Teor de água das amostras (%)	
	PD	PC	PD	PC
0-0,05	0,756a	0,986a	15,18	12,11
0,05-0,10	1,522a	2,846b	13,99	9,92
0,10-0,20	1,675a	3,073b	13,15	14,02
0,20-0,40	1,697a	1,966a	12,98	11,72

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste t de Student a 5% de probabilidade. Os valores referentes ao teor de água das amostras não foram analisados estatisticamente.

Ainda que no preparo convencional fossem observados valores de RSP superiores a 2,0 MPa, associados a condições impeditivas para o crescimento das raízes das culturas de uma maneira geral (Silva et al., 2002), estes não restringiram o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular da soja. Os dois sistemas de manejo apresentaram distribuição semelhante do comprimento radicular em profundidade (Tabela 4). Isso se explica porque, entre as principais culturas, a soja é a espécie mais adaptada as possíveis restrições devido à compactação (Kluthcouski et al., 2000), sendo que valores de 2,65 e 3,26 MPa de resistência à penetração não causaram decréscimos em sua produtividade (Secco, 2003), possivelmente porque não foram limitantes ao crescimento das raízes.

Tabela 4. Distribuição do comprimento radicular da soja no perfil do solo, nas condições de plantio direto e preparo convencional, para as camadas avaliadas

Camada (m)	Plantio Direto	Preparo convencional
0-0,05	39%	33%
0,05-0,10	38%	37%
0,10-0,20	18%	20%
0,20-0,40	5%	10%

Observa-se que houve uma tendência do sistema radicular se concentrar superficialmente, pois no plantio direto 77% das raízes distribuíram-se nos primeiros 10 cm do solo, enquanto no preparo convencional foram encontrados 70% das raízes para a mesma camada, corroborando com Gregory (1992). Possivelmente, o sistema radicular mais superficial, em ambos os manejos, está relacionado à irrigação e a precipitação, que mantiveram estas camadas com elevado conteúdo hídrico, fazendo com que as raízes não precisassem explorar camadas mais profundas de solo.

Como o conteúdo de água no solo afeta a relação entre a resistência do solo à penetração e o alongamento radicular, e não houve restrição hídrica durante o ciclo da cultura, somente a camada de 0-0,05 m apresentou diferença significativa no peso seco de raízes (Tabela 5), para as outras variáveis de desenvolvimento radicular, não houve diferença significativa a 5% de probabilidade entre os tratamentos.

Tabela 5. Comprimento (km m^{-3}), superfície ($\text{m}^2 \text{m}^{-3}$), peso seco (g m^{-3}) e diâmetro (cm) radicular da soja no plantio direto (PD) e preparo convencional (PC) nas diferentes camadas avaliadas

Camada (m)	Comprimento (Km m^{-3})		Superfície ($\text{m}^2 \text{m}^{-3}$)		Peso Seco (g m^{-3})		Diâmetro (cm)	
	PDR	PC	PDR	PC	PDR	PC	PDR	PC
0-0,05	14,18a	10,98a	24,50a	15,09a	1836,02	767,10b	0,055	0,044a
0,05-0,10	13,95a	12,35a	23,53a	20,56a	1659,96	1144,37a	0,055	0,050
0,10-0,20	6,58a	6,48a	11,37a	10,26a	729,38a	509,31a	0,053	0,049
0,20-0,40	1,72a	3,21a	3,23a	5,22a	157,19a	201,20a	0,056	0,048

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste t de Student a 5% de probabilidade.

Uma vez que os componentes avaliados de desenvolvimento radicular praticamente não diferiram, não houve diferença significativa entre a produtividade e os demais componentes da produção da soja para o plantio direto e o preparo convencional (Tabela 6).

A presença de camadas compactas no perfil do solo não afetou a produtividade da soja, uma vez que, não houve restrição hídrica, corroborando com Cardoso et al. (2006) e Giarola et al. (2009).

Tabela 6. Número de grãos por planta, número de grãos por vagem, massa de 1000 grãos e produtividade da soja em razão de diferentes manejos de solo, preparo convencional e plantio direto

Manejo de solo	Número de grãos por planta	Número de vagens por planta	Número de grãos por vagem	Massa de 1000 grãos (g)	Produtividade (Mg ha^{-1})
Plantio direto	94,38a	39,18a	2,40a	180,73a	5,973a
Preparo convencional	92,15a	39,39a	2,33a	190,02a	5,736a

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste t de Student a 5% de probabilidade.

6 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que:

- a) A RSP não restringiu o crescimento radicular da soja;
- b) Até a profundidade de 40 cm, os dois manejos do solo apresentaram praticamente a mesma distribuição do comprimento radicular;
- c) Não houve diferença significativa de produtividade da soja sob os manejos plantio direto e preparo convencional.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BESCANSA, P. et al. Soil water retention as affected by tillage and residue management in semiarid Spain. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.87, p.19-27, 2006.

BEUTLER, A. N. et al. Influência da compactação e do cultivo de soja nos atributos físicos e na condutividade hidráulica em latossolo vermelho. **Irriga**, Botucatu, v.8, n.3, p.242-249, 2003.

CARDOSO, E.G. et al. Sistema radicular da soja em função da compactação do solo no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.41, n.3, p. 493-501, 2006.

COSTA, F.S. et al. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.27, p. 527-535, 2003.

CUNHA, E. Q. et al. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. I – Atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, p. 589-602, 2011.

DALMAGO, G. A. et al. Retenção e disponibilidade de água às plantas, em solo sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, p.855-864, 2009. Suplemento.

DOURADO NETO, D. et al. Programa para confecção da curva característica de retenção de água no solo utilizando o modelo de Genuchten. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v.1, n.2, p. 94-101, 1990.

FOLONI, J.S.S.; LIMA, S.L.; BULL, L.T. Crescimento aéreo e radicular da soja e de plantas de cobertura em camadas compactadas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p. 49-57, 2006.

FREDDI, O. S. et al. Produtividade do milho relacionada com a resistência mecânica à penetração do solo sob preparo convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.1, p. 113-121, 2006.

GIAROLA, N. F. B. et al. Cultivares de soja sob plantio direto em Latossolo Vermelho compactado. **Agronomy Acta Scientiarum**, Maringá, v. 31, n. 4, p. 641-646, 2009.

- GONÇALVES, W.G. et al. Sistema radicular de plantas de cobertura sob compactação do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.1. 2006. p. 67-75, 2006.
- GREGORY, P.J. Crecimiento y funcionamiento de las raíces. In: WILD, A. (Coord.). **Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russel**. Madrid: Mundi-Prensa, 1992. p.121-175.
- KLUTHCOUSKI, J. et al. Manejo do solo e o rendimento de soja, milho, feijão e arroz em plantio direto. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.57, n.1, p. 97-104, 2000.
- LANÇAS, K. P.; SANTOS FILHO, C.A. **Penetrômetro hidráulico-eletrônico equipado com DGPS para avaliação da compactação do solo**. La Plata: Editorial de la U.N.L.P., 1998. p. 570-576.
- MANFRON, P.A. et al. Modelo da profundidade efetiva do sistema radicular na cultura de milho em função de graus-dia acumulados. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 327-332, 2003.
- MORET, D.; ARRÚE, J. L. Dynamics of soil hydraulic properties during fallow as affected by tillage. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.96, p.103-113, 2007.
- REICHERT, J. M. et al. Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.44, n.3, p.310-319, mar. 2009.
- ROQUE, A. A. de O. et al. Atributos físicos do solo e intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distrófico sob controle de tráfego agrícola. **Ciencia Rural**, Santa Maria, v. 41, n.9, p.1536-1542, 2011.
- SECCO, D. **Estados de compactação de dois Latossolos sob plantio direto e suas implicações no comportamento mecânico e na produtividade de culturas**. 2003. 108f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, Santa Maria, 2003.
- SHUKLA, M. K.; LAL, R.; EBINGER, M. Tillage effects on physical and hydrological properties of a typic argioquoll in Central Ohio. **Soil Science**, Baltimore, v.168, n.11, p.802-811, 2003.
- SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; IMHOFF, S. Intervalo hídrico ótimo. In: MORAES, M. H.; MÜLLER, M. M. L.; FOLONI, J. S. S. **Qualidade física do solo: métodos de estudo-sistemas de preparo e manejo do solo**. Jaboticabal: Funep, 2002. p. 1-18.
- SILVA, M.A.S. et al. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.3, p.544-552, 2005.

SILVEIRA NETO, A. N. et al. Efeito de manejo e rotação de culturas em atributos físicos do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.36, n.1, p. 29-35, 2006.

TENNANT, D. A test of a modified line intersect method of estimating root length. **Journal of Ecology**, London, v.63, p. 995-1001, 1975.

VAN GENUCHTEN, M. Th. A closed-form equation for predicting the conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.44, p.892-898, 1980.

VITA, P. de et al. No-tillage and convencional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.92, p.69-78, 2007.