

## CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO SATURADO NA ZONA VADOSA IN SITU E EM LABORATÓRIO

**Rodrigo Trevisan<sup>1</sup>; Luiz Felipe Salemi<sup>1</sup>; Jorge Marcos de Moraes<sup>1</sup>; Júlio Cesar Martins de Oliveira<sup>(4)</sup>**

*<sup>(1)</sup>Laboratório de Ecologia Isotópica, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, e-mail: rtrevisan@cena.usp.br*

*<sup>(4)</sup>Laboratório de Física de Solos, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP*

### 1 RESUMO

A condutividade hidráulica do solo é uma propriedade fundamental na determinação da dinâmica da água e de solutos em solos saturados e não - saturados, sendo útil na resolução de problemas relacionados à preservação do meio ambiente, da agricultura e dos recursos hídricos. Muitos métodos são empregados para a sua determinação em solos saturados, tanto em campo como em laboratório, cada um com suas vantagens e desvantagens. Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho foi o de comparar um método de campo, o método do permeâmetro de carga constante (“Permeâmetro Guelph”), e um método de laboratório, também de carga constante usando amostras indeformadas de solo, em um solo classificado como Latossolo Vermelho Escuro, da região de Piracicaba - SP. Conclui-se que o método de campo e o método de laboratório não podem ser considerados diferentes.

**UNITERMOS:** permeabilidade; zona não saturada; latossolo; permeâmetro guelph.

### TREVISAN, R.; SALEMI, L. F.; MORAES, J. M.; OLIVEIRA, J. C. M. THE SATURATED HYDRAULIC CONDUCTIVITY IN THE VADOSE ZONE IN SITU AND IN LABORATORY

### 2 ABSTRACT

The saturated hydraulic conductivity of the soil is a fundamental parameter to determine water and solutes dynamics in the soil, and it is useful to resolve problems related to environmental, agricultural and water resources preservation. Many methods are used for its determination, in field and in the laboratory, each one with its advantages and disadvantages. The main objective of the present work was to compare a field method, using a constant head permeameter (“Guelph Permeameter”), to a laboratory method also employing a constant head in undisturbed samples in a soil classified as dark red Latosol (Oxisol) in the area of Piracicaba. The results show, through statistical analysis, that the values obtained by the field and laboratory methods cannot be considered different.

**KEYWORDS:** permeability; unsaturated zone; oxisol; guelph permeameter.

### 3 INTRODUÇÃO

A condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_{sat}$ ) é uma das propriedades físico-hídricas do solo que assume relevância por fornecer informações imprescindíveis da capacidade de transporte de água, solutos e substâncias químicas em praticamente todos os mecanismos de fluxo. O entendimento do fluxo de água no solo é fundamental para a compreensão dos processos de infiltração e escoamento de água no solo, em estudos de erosão e lixiviação de substâncias químicas e na capacidade de infiltração dos solos (Moraes et al., 2003).

A relação existente entre a capacidade de infiltração de água no solo ( $I$ ) (lâmina d'água por tempo) e  $K_{sat}$ , é evidenciada pelo comportamento de  $I$  durante um evento de precipitação. No início do evento, quando a umidade do solo é baixa, o valor de  $I$  é alto, pois os gradientes do potencial mátrico são elevados, porém, à medida que o solo torna-se úmido,  $I$  decresce e estabiliza-se em valores próximos à  $K_{sat}$  (Hornberger et al., 1998).

A condutividade hidráulica do solo saturado sofre influência de atributos do solo tais como: estrutura, textura, homogeneidade, densidade do solo, densidade das partículas, porosidade total e macro e micro porosidade, e também, segundo Brady (1983), de qualquer fator que exerça alguma influência no tamanho e na configuração dos poros. Sua determinação pode ser feita em laboratório ou em campo, tendo em laboratório, o inconveniente de utilizar amostras de pouca representatividade, uma vez que utiliza-se uma pequena amostra da área de estudo e do possível risco de danificar a estrutura do solo em sua coleta.

Os métodos de campo, apesar de apresentarem alterações do espaço poroso do solo quando da escavação do poço onde são realizadas as medidas e de serem mais laboriosos, proporcionam menores modificações quando comparadas às amostras indeformadas utilizadas nas medições de laboratório (Amoozegar, 1989).

O presente trabalho teve por objetivo realizar um estudo comparativo entre métodos de determinação de  $K_{sat}$  na zona de solo não saturado, empregando no campo, o Permeâmetro Guelph, e no laboratório, o método das amostras indeformadas em um Latossolo Vermelho Escuro, situado no município de Piracicaba –SP.

### 4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em uma área de aproximadamente 144 m<sup>2</sup>, situada no município de Piracicaba-SP. Suas coordenadas UTM centrais são 230.1060 km Leste, 7.490,7 km Norte, com altitude de 565 m.

O clima é classificado por Köppen como tipo Cwa, conhecido como “Tropical de altitude”. Possui médias anuais de temperatura, precipitação e umidade relativa do ar de 21,1 °C, 1.257 mm e 74 %, respectivamente.

Geomorfologicamente a área se encontra na Depressão Periférica do Estado de São Paulo, estando situada no terço superior de colina longa, uniforme e convexa, caracterizando relevo suave ondulado.

Pedologicamente, o solo é classificado como Latossolo Vermelho Escuro Álico A moderado e textura argilosa, de acordo com a Carta Pedológica – Folha de Piracicaba com escala 1:100.000 (Oliveira & Prado, 1989), classificado atualmente pelo Sistema Brasileiro de Classificação do Solo como Latossolo Vermelho.

A área vem sendo utilizada há mais de cinquenta anos com o cultivo de árvores frutíferas, dispostas aleatoriamente.

A amostragem foi realizada em duas regiões denominadas de área 1 e área 2, distantes cinco metros uma da outra, permitindo melhor repetitividade dos resultados de  $K_{sat}$ . Em cada área foram alocados os pontos onde foram realizados os ensaios de  $K_{sat}$  em campo, e onde foram coletadas as amostras para a determinação de  $K_{sat}$  em laboratório. A alocação foi realizada em duas transecções paralelas com um metro de separação entre si. Em cada transecção foram alocados quinze pontos com um metro de separação, gerando assim uma malha de pontos em cada área.

A caracterização física do solo foi realizada em três amostras, coletadas nas duas áreas descritas anteriormente e da seguinte forma:

- a) no intervalo de cada cinco pontos e entre as duas transecções da malha;
- b) nas faixas de profundidade de 0 – 0,15 m e de 0,15 a 0,30 m ; e
- c) cada amostra foi condicionada e identificada em embalagens plásticas.

A determinação das frações granulométricas do solo foi realizada de acordo com a Norma Técnica NBR 7181 – “Análise Granulométrica” – Método do Densímetro (Associação Brasileira de Normas Técnicas -ABNT, 1984a).

A densidade das partículas foi determinada de acordo com a Norma Técnica NBR 6508 – “Determinação da Massa Específica”- Método do Picnômetro (ABNT, 1984b), através da equação 1 :

onde:  $\rho_p$  é a densidade das partículas ( $M.L^{-3}$ );

$m_s$  é a massa dos sólidos (M);

$V_s$  é o volume dos sólidos ( $L^3$ ).

$$\rho_p = \frac{m_s}{V_s} \quad (1)$$

A densidade do solo foi determinada de acordo com o Método do Anel Volumétrico (EMBRAPA, 1997), através da equação 2:

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_t} \quad (2)$$

onde:

$\rho_s$  é a densidade do solo ( $M.L^{-3}$ );

$m_s$  é a massa do solo (M);

$V_t$  é o volume da amostra ( $L^3$ ).

Nas mesmas amostras utilizadas para a determinação da densidade do solo, foi calculada a porosidade total e o índice de vazios do solo, através da aplicação de equações de correlação apresentadas por Stancat et al. (1981). O índice de vazios foi obtido através da utilização da equação (3):

$$e = \frac{\rho_p}{\rho_s} - 1 \quad (3)$$

onde:

$e$  é o índice de vazios ( adimensional);

$d_p$  é a densidade das partículas do solo ( $M \cdot L^{-3}$ );

$d_s$  é a densidade do solo ( $M \cdot L^{-3}$ ).

A porosidade total foi calculada mediante a aplicação da equação 4:

$$n = \left( \frac{e}{1+e} \right) \times 100 \quad (4)$$

onde:

$n$  é a porosidade total do solo (%);

$e$  é o índice de vazios do solo ( adimensional ).

A coleta de amostras indeformadas para a realização do ensaio de  $K_{sat}$  em laboratório, foi processada mediante a inserção no solo de anéis volumétricos metálicos de 0,053 m de altura e 0,049 m de diâmetro com auxílio do extrator de amostras indeformadas. As profundidades de amostragem do centro do anel à superfície do terreno foram de 0,15 m e de 0,30 m em cada ponto da malha, resultando em sessenta amostras coletadas em cada malha.

A determinação da  $K_{sat}$  em laboratório foi realizada aplicando-se um método similar ao Método das Amostras com Estruturas Indeformadas (EMBRAPA, 1997), conforme expresso pelo equação 5:

$$K_{sat} = \frac{Q.L}{A.H.t} \quad (5)$$

sendo:

$K_{sat}$  é a condutividade hidráulica do solo saturado ( $L.T^{-1}$ );

$Q$  = volume de água percolado na amostra de solo contida no anel, ou a média das duas leituras quando há variação ( $L^3$ );

$L$  = altura do anel preenchido com solo em (L);

$A$  = área da secção transversal do anel do cilindro em ( $L^2$ );

$t$  = tempo (T);

$H$  = carga constante (L).

Nos ensaios de determinação da  $K_{sat}$  no campo, as profundidades do ponto central da carga aplicada em relação à superfície do terreno foram de 0,15 m e 0,30 m. Os ensaios foram realizados com a utilização do Permeômetro Guelph, similar ao apresentado por Talsma & Hallan citados por Reynolds et al. (1983), que mede a condutividade hidráulica do solo saturado em campo acima do lençol freático, através da utilização da equação 6, descrita pelo Manual Operacional do Guelph (Soilmoisture, 2005):

$$K_{sat} = (0,0041.W.R2) \times (0,0054.W.R1) \quad (6)$$

onde:

$K_{sat}$  = condutividade hidráulica do solo saturado determinada em campo ( $L.T^{-1}$ );

$W$  = constante do reservatório do Permeômetro Guelph ( $L^2$ );

$R_1$  e  $R_2$  = taxas fixas de fluxo para as cargas de pressões  $H_1$  e  $H_2$ , respectivamente ( $L.T^{-1}$ ).

Os valores obtidos pelos dois métodos, foram tratados estatisticamente aplicando-se o teste de Mann- Whitney através do programa MINITAB versão 14.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A síntese dos parâmetros analisados é mostrada em tabelas, (análise granulométrica na Tabela 1, densidade das partículas, densidade do solo e porosidade total na Tabela 2).

**Tabela 1.** Distribuição granulométrica em porcentagem das amostras contidas nas áreas 1 e 2.

Amostra -Faixa de profundidade	Área	Ø dos grãos (mm)					
		4,8- 76	2,0- 4,8	0,42 - 2,0	0,06 - 0,42	0,002 - 0,06	<0,002
		Pedregulho (%)	Areia Grossa (%)	Areia Média (%)	Areia Fina (%)	Silte (%)	Argila (%)
1- 0,00-0,15 m	1	0	0	4,91	43,39	16,98	34,72
1- 0,15-0,30 m	1	0	0	5,27	49,34	13,80	31,59
2- 0,00-0,15 m	1	0	0	6,66	47,34	10,53	35,47
2- 0,15-0,30 m	1	0	0	9,43	46,57	9,16	34,84
3- 0,00-0,15 m	1	0	0	4,40	39,60	10,21	45,75
3- 0,15-0,30 m	1	0	0	6,45	36,40	9,15	48,00
1- 0,00-0,15 m	2	0	0	4,54	43,46	12,00	40,00
1- 0,15-0,30 m	2	0	0	3,96	38,04	17,15	40,85
2- 0,00-0,15 m	2	0	0	6,60	53,40	18,00	22,00
2- 0,15-0,30 m	2	0	0	6,35	42,62	7,03	44,00
3- 0,00-0,15 m	2	0	0	5,74	52,26	22,00	20,00
3- 0,15-0,30 m	2	0	0	4,52	49,48	12,00	34,00

**Tabela 2.** Densidade das partículas (Dp), densidade do solo (Ds) e porosidade das amostras contidas nas duas áreas.

Amostra	Área	profundidade (m)	Dp (kg m <sup>-3</sup> )	Ds (kg m <sup>-3</sup> )	Porosidade (%)
1	1	0,00-0,15	2.756	1.411	48,80
1	1	0,15-0,30	2.759	1.562	43,41
2	1	0,00-0,15	2.693	1.413	52,12
2	1	0,15-0,30	2.789	1.520	49,81
3	1	0,00-0,15	2.708	1.100	59,25
3	1	0,15-0,30	2.701	1.005	62,53
1	2	0,00-0,15	2.737	1.248	54,40
1	2	0,15-0,30	2.742	1.389	49,30
2	2	0,00-0,15	2.697	1.266	53,00
2	2	0,15-0,30	2.747	1.338	57,21
3	2	0,00-0,15	2.723	1.175	57,22
3	2	0,15-0,30	2.714	1.100	60,10

Os resultados mostraram que o meio físico utilizado para a realização do presente trabalho, pode ser caracterizado como homogêneo, devido às pequenas variações granulométricas apresentadas na Tabela 1. O solo foi classificado segundo a NBR 6484 (ABNT, 2001) como areia argilo siltosa, e com um alto teor de argila, tendo sua textura classificada como argilosa.

Em termos da densidade do solo (Tabela 2), pode-se notar que os valores apresentaram pouca variação em relação à profundidade, com uma leve tendência de aumento em relação à profundidade, fato esse esperado, já que com o aumento da profundidade o teor de matéria orgânica é reduzido, há menor agregação, menor penetração das raízes, maior compactação

ocasionada pelo peso das camadas adjacentes e diminuição da porosidade total. Esse fato não foi evidenciado na amostra 3 de ambas as áreas, em que os resultados tiveram pequena diminuição com o aumento da profundidade. Isso pode ser explicado, devido a uma possível compactação superficial, sugerida pelos resultados de porosidade total (Tabela 2), nas mesmas amostras, aumentaram com a profundidade.

**Tabela 3.** Valores de  $K_{sat}$  obtidos nas áreas 1 e 2, em campo e em laboratório.

Área	Medida	Medidas em $\text{cm h}^{-1}$			
		Métodos			
		Laboratório	Guelph	Laboratório	Guelph
		Profundidade* 0,15 m	Profundidade** 0,15 m	Profundidade* 0,30 m	Profundidade** 0,30 m
1	média	6,03	3,64	5,27	3,56
1	mediana	2,50	2,19	2,55	1,71
2	média	6,17	3,95	5,28	3,77
2	mediana	2,02	1,50	4,23	2,93

\*Profundidade do ponto central do anel em relação a superfície do terreno

\*\*Profundidade do ponto central da carga aplicada pelo Permeômetro em relação a superfície do terreno.

**Tabela 4.** Valores de  $K_{sat}$  encontrados na literatura.

Autor	Solo	Cobertura Vegetal	Método		Profundidade do ensaio (m)	Valor médio de $K_{sat}$ ( $\text{cm h}^{-1}$ )	
			Campo	Laboratório		Campo	Lab.
SILVA (2003)	LVdf <sup>1</sup>	Plantio direto Soja/Milho	Permeômetro Guelph	Amostra Indeformada <sup>4</sup>	0,00-0,15	5,16	4,76
ARGENTON et al. (2005)	LVdf <sup>1</sup>	Milho + Guandu	----- <sup>5</sup>	Amostra Indeformada <sup>4</sup>	0,00-0,20	----- <sup>5</sup>	3,40
SOUZA & ALVES (2003)	LVe <sup>2</sup>	Plantio Direto Soja/Milho	Permeômetro Guelph	----- <sup>5</sup>	0,10-0,20	4,10	----- <sup>5</sup>
OLIVEIRA et al. (2005)	LVd <sup>3</sup>	Cafezal	----- <sup>5</sup>	Amostra Indeformada <sup>4</sup>	0,00-0,20	----- <sup>5</sup>	2,94
SOUZA et al. (2006)	LVef	Cana de açúcar	Permeômetro Guelph	----- <sup>5</sup>	0,10-0,20	234,8	----- <sup>5</sup>
PREVEDELLO et al. (2002)	LVe <sup>2</sup>	Não relata	----- <sup>5</sup>	Amostra indeformada <sup>6</sup>	0,00-0,25	----- <sup>5</sup>	126,00

Obs: <sup>1</sup> Latossolo vermelho distroférico

<sup>2</sup> Latossolo Vermelho escuro

<sup>3</sup> Latossolo Vermelho distrófico

<sup>4</sup> Ensaio de Laboratório pelo método EMBRAPA 1997

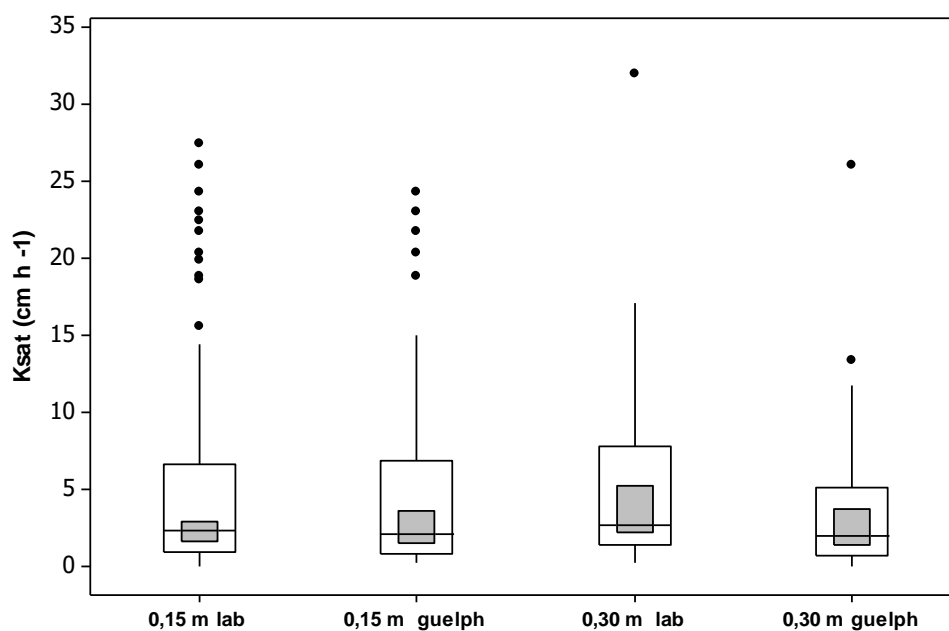
<sup>5</sup> Não realizou medidas pelo método

<sup>6</sup> Não apresenta maiores detalhes

Os resultados obtidos na determinação de  $K_{sat}$  por ambos os métodos são os apresentados na Tabela 3 e foram apresentados em  $\text{cm.h}^{-1}$  para facilitar a apreciação das grandezas envolvidas. Em uma análise estatística preliminar, notou-se que a distribuição estatística dos dados não é normal. Nesse caso, Elsenbeer et al. (1992) relatam que a mediana é a melhor representação da localização média dos dados. Desta forma, os testes estatísticos mais apropriados são os não paramétricos já que não dependem da distribuição estatística dos dados. A média aritmética foi preservada nas tabelas para a comparação com outros estudos.

Com os dados de  $K_{sat}$  obtidos nesse trabalho, e com os encontrados na literatura e apresentados na Tabela 4, pode-se observar uma variabilidade entre os resultados. Isso pode ser explicado, pelo fato de que  $K_{sat}$  ser altamente influenciada pelos aspectos físicos do solo como agregação, porosidade (macro e micro), textura e morfoestruturas (Otoni Filho, 2003; Carvalho, 2002; Ellies et al., 1997; Mesquita & Moraes, 2004) e químicos do solo, além das variações existentes entre os métodos de campo e de laboratórios para sua determinação (Ferreira, 1987) e das variações espaciais em profundidade e na direção horizontal (Zevallos, 1978).

O estudo da variabilidade das medidas deste trabalho foi realizado através de gráficos “Box Plot” (Figura 1).



**Figura 1.** Gráfico “Box Plot” dos valores de condutividade hidráulica do solo saturado obtidos com o método de laboratório e com o método de campo nas duas áreas.

O gráfico “BoxPlot” (Figura 1), mostra a mediana (traço horizontal), seu intervalo de confiança de 95% (caixa cinza), os quartis 25% e 75% (caixa branca), os valores máximos e mínimos (extremos das linhas verticais) e os valores anômalos (círculos pretos). O intervalo de confiança da mediana é calculado através da metodologia descrita em Helsel & Hirsch (1995) e os dados são definidos como anômalos quando ultrapassam 1,5 vezes o valor do intervalo entre os quartis 25% e 75%, acima ou abaixo desses mesmos quartis (Elsenbeer et al., 1992; Moraes et al., 2003; Zimmermann et al., 2006). Dessa figura pode-se observar que os intervalos de confiança das medianas se sobrepõem, indicando que as diferenças não são

estatisticamente significativas. A maior quantidade de valores anômalos na profundidade de 15cm pode ser explicada pela maior densidade de raízes e atividades bióticas próximo à superfície, acarretando uma maior quantidade de macroporos e fissuras, que influenciam nas medidas de  $K_{sat}$ .

Para melhor avaliar as diferenças estatísticas entre os dois métodos, foi aplicado o teste estatístico não paramétrico de Mann-Whitney, que segundo Helsel & Hirsch (1995), verifica se dois grupos são da mesma população, ou alternativamente, se os dois grupos diferem em termos da localização central (mediana). Esse teste foi aplicado com intervalo de confiança de 95%, e nesse caso, para que as amostras sejam consideradas diferentes, o nível de significância deve ser menor ou igual 0,05. Como pode ser observado na Tabela 5, os níveis de significância (NS) na comparação entre os dois métodos são sempre maiores que 0,05 e, portanto, as amostras não podem ser consideradas estatisticamente diferentes.

**Tabela 5.** Cálculo dos níveis de significância (NS) pelo teste de Mann-Whitney.

Combinação entre os métodos	NS
Laboratório (áreas 1 e 2, profundidade 0,15 e 0,30m) x Guelph (áreas 1 e 2 profundidade 0,15 e 0,30m)	0,11
0,15m Laboratório (área 1) x 0,15m Guelph (área 1)	0,58
0,30m Laboratório (área 1) x 0,30m Guelph (área 1)	0,11
0,15m Laboratório (área 2) x 0,15m Guelph (área 2)	0,18
0,30m Laboratório (área 2) x 0,30m Guelph (área 2)	0,19
0,15m Laboratório e Guelph (área 1) x 0,15m Laboratório e Guelph (área 2)	0,97
0,30m Laboratório e Guelph (área 1) x 0,30m Laboratório e Guelph (área 2)	0,23
(0,15 + 0,30m) Laboratório e Guelph (área 1) x (0,15 + 0,30m) Laboratório e Guelph (área 1)	0,39

Obs: As profundidades mostradas na tabela são referentes aos pontos centrais do anel e da carga aplicada pelo permeâmetro em relação à superfície do terreno.

## 6 CONCLUSÕES

O estudo realizado entre os métodos de campo, utilizando o permeâmetro Guelph de carga constante, e o método de laboratório, usando amostras indeformadas também sobre a ação de uma carga constante, para a determinação de  $K_{sat}$ , mostrou que não há diferenças estatisticamente significantes entre os métodos, para as condições do mesmo.

## 7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA/USP, pela infra-estrutura disponibilizada para a realização desse estudo.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMOOZEGAR, A. A compact constant head permeameter for measuring saturated hydraulic conductivity of the Vadose zone: comparison of the glover solution with the simultaneous-



equations approach for measuring hydraulic conductivity. **Soil Science Society of América Journal**, Madison, v.53, n.5, p. 1356-1361, 1989.

ARGENTON, J. et al. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistema de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 425 – 435, Campinas, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: análise granulométrica, Rio de Janeiro, 1984a.13p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6508: determinação da massa específica, Rio de Janeiro, 1984b. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NB 6484: sondagens de simples reconhecimento com SPT, Rio de Janeiro, 2001. 8p.

BRADY, N.C. **Natureza e propriedade do solo**. 6 ed. Rio de Janeiro: Freitas, 1983. 647p.

CARVALHO, L. A. **Condutividade hidráulica do solo**: as simplificações do método do perfil instantâneo, 2002. 89p. Dissertação ( Mestre em Agronomia: Solos e Nutrição)- Escola superior de agronomia Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

ELLIES, A.; GREZ, R.; RAMIREZ, C. La conductividad hidráulica em fase saturada como herramienta para el diagnostico de la estructura del solo. **Agro sur**, Valdivia, v.5, p. 51-56, 1997.

ELSENBEER, H.; CASSEL, K.; CASTRO, J. Spatial analysis of soil hydraulic conductivity in a tropical rain forest catchment. **Water Resources Research**, v. 28, n. 12, p. 3201-3214, Washington, 1992.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise do solo**. 4 ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FERREIRA, P. A. **Curso de engenharia de irrigação: módulo II: drenagem**. Brasília, DF: ABEAS, 1987. 86p.

HELSEL, D. R., HIRSCH, R. M. **Statical methods in water resources**. Amsterdam: Elsevier, 1995. 529p.

HORNBERGER, G. M. et al. **Elements of physical hydrology**. Maryland: John Hopkins University Press, 1998. 312 p.

MESQUITA, M. G. B. F.; MORAES, S. O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 3, p.963-969, 2004.

MORAES, J. M. et al. Propriedades físicas dos solos na parametrização dos modelos hidrológicos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.8,n.1, p. 61-70, 2003.

OLIVEIRA, J. B.; PRADO, H. **Carta pedológica de Piracicaba**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1989. escala 1:100000.

OLIVEIRA, P. M. et al. Análise comparativa da caracterização físico – hídrico de um latossolo vermelho distrófico in situ e em laboratório. **Irriga**, Botucatu, v. 10, n. 1, p. 1-19, 2005.

OTTONI FILHO, T. B. Uma classificação físico-hídrica dos solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Seropéa, v. 27, p. 211-222,2003.

PREVEDELLO, C. L. et al. Solução numérica para o processo de infiltração de água no solo. **Scientia Agraria**, v. 3,n. 1-2, p. 29-39, Curitiba, 2002.

REYNOLDS, W. D.; ELRICK, D. E.; TOPP,G.C. A reexamination of the constant head well permeameter method for measuring saturated hydraulic conductivity above the water table. **Soil Science**, v. 136, p. 250-268, New York, 1983.

SILVA, V. R. **Propriedades físicas e hídricas em solos sob diferentes estados de compactação**.2003. 151 p.Tese (Doutorado em Agronomia, Biodinâmica de solos). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

SOILMOISTURE EQUIPMENT CORPORATION. **Operating Instructions**. Santa Bárbara, 2005. 51 p.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho Distrófico de cerrado, sob diferentes usos e manejos. **Revista de Ciência Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 18 – 23, 2003.

SOUZA, Z. M. et al. Micromorfologia do solo e sua relação com atributos físicos e hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 3, p. 487-492, 2006.

STANCAT, G.; NOGUEIRA, J. B.;VILAR, O. M. **Ensaio de laboratório em mecânica dos solos**. São Carlos : USP, Escola de Engenharia, Departamento de geotecnia, 1981. 208 p.

ZIVALLOS, A. C. **Caracterização físico-hídrica de um latossolo vermelho amarelo – fase arenosa (Haplustox)**.1978. 78 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)- Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1978.

ZIMMERMANN, B.; ELSENBEER, H.; MORAES, J.M. The influence of land –use changes on soil hydraulic properties: Implications for runoff generation. **Forest Ecology and Management**, Oxford, v.222, p.29-38, 2006.