

# INFLUÊNCIA DA DISTRIBUIÇÃO DE POROS POR TAMANHO NA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO SATURADO

KÁTIA D. RIBEIRO <sup>1</sup>, STÉLIO M. MENEZES <sup>2</sup>, FABRÍCIO M. T. SAMPAIO <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Engenheira Agrícola, Doutoranda, Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, UFLA, Lavras – MG, e-mail: katiadr@bol.com.br

<sup>2</sup> Engenheiro Civil, DSc., Professor Adjunto IV, Departamento de Engenharia, UFLA, Lavras – MG.

<sup>3</sup> Engenheiro Agrícola, Doutorando, Departamento de Ciência do Solo, UFLA, Lavras – MG.

Escrito para apresentação no XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola  
31 de julho a 4 de agosto de 2006 - João Pessoa - PB

**RESUMO:** Com o intuito de avaliar a influência da distribuição de vazios na condutividade hidráulica do solo saturado, foram coletadas amostras na camada superficial (0-20 cm) de seis solos (RQ, LVdf, LVAq, LVd, LVAd e RU) da região de Lavras - MG. As amostras de solo foram utilizadas para as determinações da condutividade hidráulica do solo saturado e distribuição de poros por tamanho. Pelos resultados obtidos, pôde-se verificar que os poros do solo com diâmetro maior que 0,05 mm (macroporosidade) foram os que mais interferiram nas determinações da condutividade hidráulica do solo saturado.

**PALAVRAS-CHAVE:** movimento da água no solo, porosidade do solo, macroporosidade.

## INFLUENCE OF SOIL PORE SIZE DISTRIBUTION ON SATURATED HYDRAULIC CONDUCTIVITY

**ABSTRACT:** In order to evaluate the influence of pore size distribution on saturated soil hydraulic conductivity, samples were collected from the superficial layer (0-20 cm) of six soils (RQ, LVdf, LVAq, LVd, LVAd e RU) located in the region of Lavras, Minas Gerais State, Brazil. Soil samples were submitted to the analyses of saturated soil hydraulic conductivity and pore size distribution. Results allowed verifying that saturated soil hydraulic conductivity values were more affected by soil pores with diameter greater than 0,05 mm (macroporosity).

**KEYWORDS:** soil water movement, soil porosity, macroporosity.

**INTRODUÇÃO:** A condutividade hidráulica representa a propriedade que expressa a facilidade com que um fluido é transportado através de um meio poroso, sendo que, para um dado solo, a condutividade hidráulica é tanto maior quanto maior for sua umidade, atingindo seu valor máximo quando o solo está saturado, denominando-se condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_0$ ).

O conhecimento da condutividade hidráulica do solo saturado é de fundamental importância para a determinação do fluxo de água nos solos e, do ponto de vista prático, para a elaboração de projetos de irrigação e drenagem; resolução de diversos problemas práticos de engenharia, como rebaixamento de aquíferos e recalques por adensamento; controle da infiltração e escoamento superficial do solo; quantificação da erosão e lixiviação de substâncias químicas; além de fornecer informações indiretas da estrutura e da estabilidade estrutural do solo.

Dentre os atributos do solo que interferem na condutividade hidráulica do solo saturado, a porosidade apresenta elevada relevância, visto que a água escoar pelos seus espaços vazios. Entretanto, no estudo do movimento da água no solo, a simples determinação da porosidade total fornece informações de limitada importância, sendo mais importante avaliar a distribuição dos poros por seu tamanho, isto porque uma distribuição inadequada dos diferentes tamanhos dos poros pode restringir o fluxo de água no solo (HURTADO & JONG VAN LIER, 2003).

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a condutividade hidráulica do solo saturado em função da distribuição de poros por tamanho, procurando determinar o diâmetro de poros que mais interfere no valor da condutividade hidráulica saturada.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Foram utilizadas amostras da camada superficial (0,00 a 0,20 m) de seis classes de solos (Tabela 1), não-manejados, localizados na região de Lavras (MG).

TABELA 1. Classificação e localização dos solos estudados.

Solo	Classificação <sup>(1)</sup>	Localização (município)	Coordenadas UTM <sup>(2)</sup>		Altitude (m)	Uso atual
			X (m)	Y (m)		
1	Neossolo Quartzarênico (RQ), textura arenosa.	Itutinga	540.182	7.644.077	950	Mata nativa
2	Latossolo Vermelho distroférico (LVdf), textura argilosa.	Lavras	502.970	7.652.645	950	Mata nativa
3	Latossolo Vermelho-Amarelo Psamítico (LVAq), textura franco-arenosa.	Itumirim	526.118	7.646.180	875	Pastagem natural
4	Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd), textura franco-argilosa.	Bom Sucesso	516.078	7.670.030	920	Mata secundária
5	Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico (LVAd), textura franco-argilo-arenosa	Nepomuceno	485.905	7.653.708	900	Mata nativa
6	Neossolo Flúvico (RU), textura franca.	Lavras	503.662	7.646.370	910	Várzea (vegetação natural)

<sup>(1)</sup> segundo EMBRAPA (1999), <sup>(2)</sup> Datum SAD 69, zona 23K.

A condutividade hidráulica do solo saturado foi determinada em laboratório usando-se um permeâmetro de carga constante, seguindo metodologia descrita em KLUTE (1965). Para calcular a condutividade hidráulica utilizou-se a equação:  $K_o = V_a \cdot L / [(A \cdot t \cdot (L + h))]$ , em que:  $K_o$  = condutividade hidráulica do solo saturado [ $L \cdot T^{-1}$ ];  $V_a$  = volume de água coletado no intervalo de tempo “t” [ $L^3$ ];  $L$  = comprimento da amostra [ $L$ ];  $A$  = área da seção transversal da amostra [ $L^2$ ];  $h$  = potencial de pressão no topo da amostra [ $L$ ];  $t$  = tempo de coleta [ $T$ ]). Os valores de  $K_o$  foram corrigidos para a temperatura-padrão de 20°C, usando-se a expressão:  $K_{o\ 20^\circ C} = K_{o\ T} \cdot \mu_T / \mu_{20^\circ C}$ , em que:  $K_{o\ 20^\circ C}$  = condutividade hidráulica à temperatura de 20°C [ $L \cdot T^{-1}$ ];  $K_{o\ T}$  = condutividade hidráulica à temperatura de ensaio [ $L \cdot T^{-1}$ ];  $\mu_T$  = viscosidade dinâmica da água à temperatura de ensaio [ $L^2 \cdot T^{-1}$ ];  $\mu_{20^\circ C}$  = viscosidade dinâmica da água à temperatura de 20°C [ $L^2 \cdot T^{-1}$ ].

A determinação, em laboratório, da distribuição de poros por tamanho foi feita pelo método da dessorção de água (BOUMA, 1973). Foram utilizadas as tensões de 0,02; 0,04; 0,06; 0,08; 0,1; 0,33 e 15 atm. O cálculo do diâmetro dos vazios do solo foi realizado através da equação:  $d_v = (4 \cdot \sigma \cdot \cos \phi) / (\rho_w \cdot g \cdot h)$ , em que:  $d_v$  = diâmetro dos vazios [ $L$ ];  $\sigma$  = tensão superficial da água [ $M \cdot T^{-2}$ ];  $\phi$  = ângulo de contato entre a água e a parede do poro;  $\rho_w$  = massa específica da água [ $M \cdot L^{-3}$ ];  $g$  = aceleração da gravidade [ $L \cdot T^{-2}$ ]; e  $h$  = altura da coluna de água (tensão aplicada) [ $L$ ].

A análise estatística dos resultados obtidos consistiu na aplicação do teste de Scott & Knott, a 5 % de probabilidade, para comparação de médias, análises de correlação entre  $K_o$  e a distribuição de poros por tamanho dos solos, e teste de Kolmogorov-Smirnov (teste de normalidade) dos dados de condutividade hidráulica do solo saturado. Todas as determinações foram realizadas com quatro repetições.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Na Tabela 2 são apresentados os resultados da condutividade hidráulica saturada dos solos estudados. Pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (teste de normalidade), ficou comprovado que os dados de  $K_o$ , neste trabalho, seguiram a distribuição normal de probabilidade. O solo 2 (LVdf) apresentou o maior valor de  $K_o$ .

Os valores de CV indicam a variabilidade dos dados. WARRICK & NIELSEN (1980) consideram que um  $CV \geq 52\%$  indica elevada variabilidade do parâmetro físico do solo analisado. Dessa forma, apenas o solo 4 (LVd) apresentou elevada variabilidade dos dados de condutividade hidráulica do solo saturado.

TABELA 2. Condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_o$ ), à temperatura padrão de 20°C, com os respectivos coeficientes de variação (CV).

	Solo					
	1 (RQ)	2 (LVdf)	3 (LVAq)	4 (LVd)	5 (LVAd)	6 (RU)
$K_o$ (cm.h <sup>-1</sup> )	42,10 B	69,99 A	11,99 C	33,15 B	0,40 C	1,82 C
CV (%)	29,56	17,14	21,50	71,66	50,79	33,15

Médias seguidas pela mesma letra nas linhas não diferem entre si pelo teste de Scott & Knott, a 5% de probabilidade.

De acordo com o U.S. Bureau of Plant Industry and Agricultural Engineering (ANTONIO & DORFMAN, 1986), os solos podem ser classificados em função da sua condutividade hidráulica saturada, conforme Tabela 3.

TABELA 3. Classificação dos solos em função da condutividade hidráulica do solo saturado.

Classe	$K_o$ (cm.h <sup>-1</sup> )	Classe	$K_o$ (cm.h <sup>-1</sup> )
Muito lenta	< 0,13	Moderadamente	6,30 a 12,70
Lenta	0,13 a 0,51	Rápida	12,70 a 25,40
Moderadamente	0,51 a 2,00	Muito rápida	> 25,40
Moderada	2,00 a 6,30		

Fonte: ANTONIO & DORFMAN (1986).

Portanto, a condutividade hidráulica saturada dos solos 1 (RQ), 2 (LVdf) e 4 (LVd) caracteriza-se como muito rápida. Para os solos 3 (LVAq), 5 (LVAd) e 6 (RU), a condutividade hidráulica saturada classifica-se como moderadamente rápida, lenta e moderadamente lenta, respectivamente.

Na Tabela 4 são apresentadas as correlações entre a condutividade hidráulica saturada e a distribuição de poros por tamanho.

TABELA 4. Coeficientes de correlação simples entre condutividade hidráulica saturada e distribuição de poros por tamanho dos solos estudados.

Diâmetro dos vazios	$K_o$
> 0,15 mm	0,8903 **
0,15 - 0,075 mm	0,2699 <sup>ns</sup>
0,075 - 0,05 mm	0,1764 <sup>ns</sup>
0,05 - 0,0375 mm	0,1192 <sup>ns</sup>
0,0375 - 0,03 mm	0,2826 <sup>ns</sup>
0,03 - 0,009 mm	-0,8138 *
0,009 - 0,0002 mm	-0,4984 <sup>ns</sup>
< 0,0002 mm	-0,4873 <sup>ns</sup>
> 0,075 mm	0,9913 **
> 0,05 mm (macroporosidade)	0,9931 **
> 0,0375 mm	0,9876 **
> 0,03 mm	0,9852 **
> 0,009 mm	0,9752 **
> 0,0002 mm	0,9622 **
< 0,05 mm (microporosidade)	-0,6059 <sup>ns</sup>

\*\* significativo a 1%; \* significativo a 5%;<sup>ns</sup> não significativo.

Analisando-se apenas os coeficientes de correlação significativos a 1% de probabilidade, é possível fazer o seguinte raciocínio: partindo dos poros do solo com diâmetro maior que 0,15 mm, percebe-se que o valor do coeficiente de correlação aumenta até atingir a classe dos poros com diâmetro maior que 0,05 mm (macroporosidade). A partir dessa classe de tamanho dos poros, o valor do coeficiente de correlação passa a diminuir progressivamente, ou seja, dentre as correlações, significativas a 1% de probabilidade, entre  $K_o$  e distribuição de poros por tamanho, o maior coeficiente foi encontrado para a interação  $K_o$  versus macroporosidade (poros com diâmetro superior a 0,05 mm). Portanto, os poros do solo com diâmetro maior que 0,05 mm foram os que mais interferiram na condutividade hidráulica do solo saturado. Corroborando com a literatura (OLIVEIRA, 1991; SÃO MATEUS, 1994; SILVA & KATO, 1997; SAMPAIO, 2004), neste trabalho foram os macroporos que dominaram o movimento da água no solo e condicionaram os valores encontrados para  $K_o$ .

Solos que apresentam elevada quantidade de microporos tendem a conduzir menor quantidade de água, ou seja, espera-se que microporosidade e  $K_o$  sejam inversamente proporcionais. Todavia, a correlação encontrada entre microporosidade e  $K_o$  não foi significativa. Tal fato evidencia a importância de se levar em consideração a continuidade dos microporos na avaliação do comportamento hidráulico dos solos, uma vez que poros menores, porém contínuos, podem permitir maior fluxo de água e solutos do que poros maiores descontínuos no perfil do solo.

**CONCLUSÃO:** Os poros do solo com diâmetro superior a 0,05 mm foram os que mais interferiram na condutividade hidráulica do solo saturado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTONIO, F. C.; DORFMAN, R. **Manual de ensaios de laboratório e de campo para irrigação e drenagem**. São Paulo: Nobel, 1986. 333 p.

BOUMA, J. **Guide to the study of water movement in soil pedons above the watertable**. Madison: University of Wisconsin, 1973. 194 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1999. 412 p.

HURTADO, A. L. B.; JONG VAN LIER, Q. Avaliação da variabilidade da condutividade hidráulica do solo em função da umidade e do potencial matricial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais**. Ribeirão Preto: UNESP, 2003. CD-ROM.

KLUTE, A. Laboratory measurement of hydraulic conductivity of saturated soil. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis I. Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. Cap. 13, p. 210-221.

OLIVEIRA, J. C. M. **Determinação de parâmetros do solo durante a infiltração horizontal e redistribuição da água por atenuação de raios gama e tensiometria**. Piracicaba, 1991. 76 p. Dissertação (Mestrado Energia Nuclear na Agricultura) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

SAMPAIO, F. M. T. **Permeabilidade superficial de solos da sub-bacia do córrego Centenário da cidade de Lavras-MG**. 2004. 42 p. Dissertação (Mestrado em Construções Rurais e Ambiente) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

SÃO MATEUS, M. S. C. **Determinação em laboratório da condutividade hidráulica de solos não saturados**. 1994. 186 p. Dissertação de (Mestrado) - Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos.

SILVA, C. L. da; KATO, E. Efeito do selamento superficial na condutividade hidráulica saturada da superfície de um solo sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 2, p. 213-220, 1997.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). **Application of soils physics**. New York: Academic Press, 1980. cap. 13, p. 319-344.