

# COMUNICAÇÃO

## CORRELAÇÕES ENTRE A PERMEABILIDADE E OS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO DA SUB-BACIA DO CÓRREGO CENTENÁRIO DA CIDADE DE LAVRAS – MG

**Correlations between the permeability and the physical attributes of the soil of the sub-basin of the centenário stream of the Lavras city-MG**

**Fabício de Menezes Telo Sampaio<sup>1</sup>, Stélio Maia Menezes<sup>2</sup>,  
Marcelo Barbosa Furtini<sup>3</sup>, Kátia Daniela Ribeiro<sup>4</sup>**

### RESUMO

A permeabilidade do solo é um atributo físico de grande importância para a engenharia, sendo necessária a sua determinação nos trabalhos em que se tem movimento d'água no solo. Vários são os atributos físicos do solo que influenciam nos valores do seu coeficiente de permeabilidade, sendo considerados de maior importância a densidade e a porosidade. Neste trabalho, objetivou-se verificar as correlações existentes entre os atributos físicos do solo com a permeabilidade. Esses solos foram obtidos da sub-bacia do córrego Centenário, localizada na área urbana da cidade de Lavras, sul do Estado de Minas Gerais. Para a coleta desses solos, utilizou-se de um amostrador projetado especialmente para esta pesquisa, que apresentou uma boa eficiência na representatividade dos solos retirados. O atributo físico do solo que melhor se correlacionou com a permeabilidade foi a macroporosidade, verificando-se ainda boa correlação para a microporosidade, resistência à penetração e a densidade.

**Termos para indexação:** Permeabilidade do solo, mecânica dos solos, geotecnia.

### ABSTRACT

The permeability of the soil is a physical attribute of great importance for engineering, being necessary its determination in the works where it has water movement in the soil. Several are the physical attributes of the soil that have influence in the values of the coefficient of permeability, being considered the most important ones the density and the porosity. This paper aimed at verifying the existing correlation between different physical attributes of the soil with the permeability. These soils were removed of the sub-basin of the stream Centenário, located in the urban area of the Lavras city (Minas Gerais state, Brazil). For collecting those soils were used a sampler projected especially for this research, which presented a good efficiency in the representation of removed soil, and comparing the results of the tests in laboratory with the field tests. The attribute of the soil that better correlated with the permeability was the macroporosity, verifying yet its good correlation concerning to the microporosity, resistance to the penetration and soil density.

**Index terms:** Permeability of the soil, soil mechanics, geotechnical.

**(Recebido para publicação em 8 de outubro de 2004 e aprovado em 23 de agosto de 2005)**

A água existente nos vazios de um meio permeável ocorre sob forma de água retida, que permanece aderente à fase sólida sob a ação de fenômenos físico-químicos e capilares, e água livre, que escoar sob a ação da gravidade (FRANCISS, 1980). A permeabilidade do solo é um dos atributos físicos mais importantes para indicar a qualidade de um solo (MARTINS et al., 2002). Ela pode ser definida como a maior ou menor facilidade que os solos oferecem à passagem de água (ALONSO, 1999).

A permeabilidade é dependente de vários atributos do solo, principalmente da densidade, porosidade, macro e microporosidade (MESQUITA & MORAES, 2004).

A granulometria e a estrutura apresentam influência sobre o espaço poroso do solo, sua porosidade total e distribuição de poros, dificultando em maior ou menor intensidade o movimento da água (MESQUITA, 2001). Segundo Neves (1987), pode-se determinar o coeficiente de permeabilidade por diferentes maneiras: fórmulas empíricas; ensaios de laboratório (com o uso de permeômetros), ou ensaios de campo.

Neste trabalho, objetivou-se correlacionar alguns atributos físicos do solo com o coeficiente de permeabilidade. Para isso, foram estudados os solos da sub-bacia do córrego Centenário, visando obter parâmetros para o estudo da dinâmica d'água no solo.

<sup>1</sup> Engenheiro Agrícola, Mestre em Engenharia Agrícola, Departamento de Engenharia – Universidade Federal de Lavras/UFLA – Cx. P. 3037 – 37200-000 – Lavras, MG – flabricio@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Engenheiro Civil, Doutor em Geotecnia, Professor Adjunto, Departamento de Engenharia – Universidade Federal de Lavras/UFLA – Cx. P. 3037 – 37200-000 – Lavras, MG.

<sup>3</sup> Arquiteto Urbanista, Mestrando em Engenharia Agrícola, Departamento de Engenharia, UFLA – Cx. P. 3037 – 37200-000 – Lavras, MG.

<sup>4</sup> Engenheira Agrícola, Mestranda em Engenharia Agrícola, Departamento de Engenharia, UFLA – Cx. P. 3037 – 37200-000 – Lavras, MG.

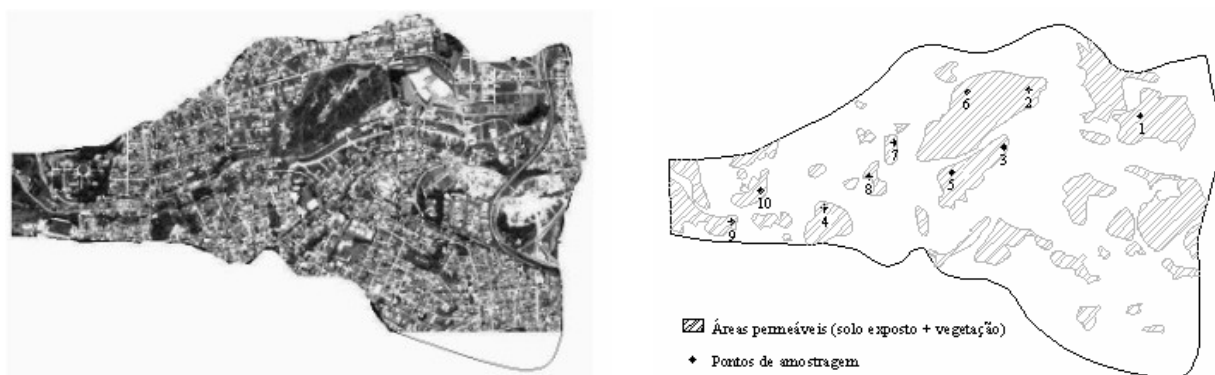
Os solos pesquisados neste trabalho estão situados na sub-bacia do córrego Centenário, que está localizada na área urbana da cidade de Lavras (MG). Essa sub-bacia possui uma área de 289,7 ha, englobando a maior parte da cidade. Para tanto, foram retiradas amostras de solo na camada superficial (0 a 20 cm), em 10 locais diferentes dentro da sub-bacia (Figura 1).

Na Tabela 1, é apresentada a descrição de cada local estudado, com suas coordenadas geográficas dentro da sub-bacia.

As amostras de solo deformadas serviram para realização dos ensaios de granulometria e densidade de

partículas. Já as amostras indeformadas, objetivaram determinar a permeabilidade, densidade, macro e microporosidade dos solos estudados.

A retirada das amostras indeformadas foi realizada com o auxílio de um amostrador de solo projetado especialmente para esta pesquisa (Figura 2). Esse amostrador é um equipamento de aço constituído de 4 peças: corpo, haste, tampa e peso. No interior do corpo desse amostrador existe uma parte onde é encaixado um tubo de PVC com as dimensões da amostra indeformada que se pretende obter (10 cm de diâmetro e 15 cm de altura).

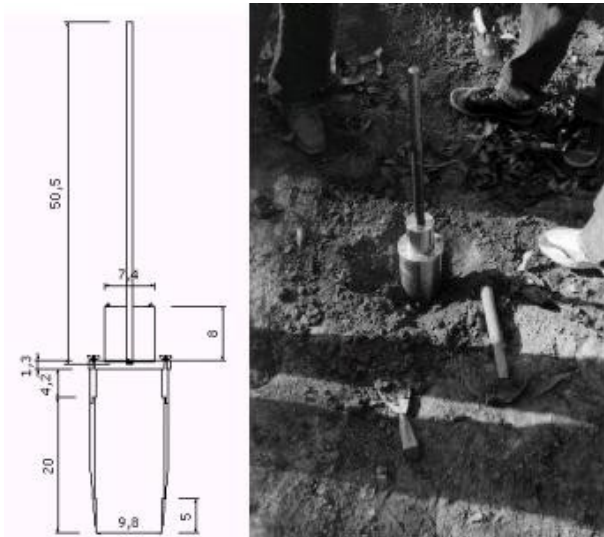


**FIGURA 1** – Vista aérea e locais dos solos coletados na sub-bacia do córrego Centenário.

**TABELA 1** – Informações das 10 localidades dentro da sub-bacia.

Localidade	Coordenadas UTM	Observações
Amostra 1	X=501022.5; Y=7650104.8	Solo desnudado com início de erosão superficial e poucos pedregulhos
Amostra 2	X=501125.5; Y=7650653.7	Base de uma voçoroca, solo com coloração rosa e cerosidade
Amostra 3	X=500886.8; Y=7650848.4	Pouca vegetação com presença de pedregulhos
Amostra 4	X=500566.1; Y=7651663.4	Vegetação escassa, pouca terra carregada por chuvas
Amostra 5	X=500761.9; Y=7651032.4	Boa cobertura vegetal, com presença de pedregulhos
Amostra 6	X=501119.4; Y=7651004.8	Topo de uma voçoroca, solo desnudado
Amostra 7	X=500974.8; Y=7651457.0	Terreno com pouca vegetação e raros pedregulhos
Amostra 8	X=500813.2; Y=7651337.4	Solo pouco erodido
Amostra 9	X=500513.5; Y=7652055.2	Boa cobertura vegetal com pedregulhos médios
Amostra 10	X=500669.9; Y=7651812.0	Terreno com boa cobertura vegetal

Para a obtenção do coeficiente de permeabilidade do solo em laboratório, realizaram-se ensaios de permeabilidade à carga variável (NBR-14545/2000/ABNT), utilizando-se o permeâmetro mostrado na Figura 3.



**FIGURA 2** – Amostrador de solo utilizado para a retirada de amostras indeformadas.



**FIGURA 3** – Permeâmetro de carga variável da SOLOTEST.

Em campo, foram realizados ensaios de resistência à penetração no solo com a utilização de um penetrômetro (com ponta de cone) e ensaios de permeabilidade à carga variável.

O Ensaio de permeabilidade *in situ* foi realizado a uma profundidade de 10 cm, utilizando-se o corpo do amostrador como permeâmetro. Para tal, cravou-se o mesmo

no solo, até a uma profundidade de 5 cm, preenchendo-se, posteriormente, o mesmo com água até a sua borda superior. Esperou-se, no mínimo dez minutos, para a saturação daquela camada de 5 cm de solo, procedendo-se o ensaio com o uso de um cronômetro e uma régua. Anotou-se o tempo necessário para que a lâmina d'água baixasse da altura de 12 para 10 cm. O ensaio foi repetido para um mínimo de cinco vezes, em três pontos para cada local estudado.

Para o cálculo do coeficiente de permeabilidade do solo, tanto em laboratório quanto em campo, utilizou-se a fórmula descrita por Pinto (2000) para carga variável, dada a seguir:

$$k = 2,3 \frac{a \cdot L}{A \cdot t} \log \frac{h_i}{h_f}$$

Em que:

$k$  = coeficiente de permeabilidade do solo;

$a$  = área do tubo do corpo do amostrador;

$L$  = altura da amostra do solo;

$A$  = área da amostra do solo;

$t$  = tempo decorrido durante o ensaio;

$h_i, h_f$  = alturas inicial e final da lâmina de água.

Para a verificação da relação existente entre os atributos físicos do solo e a permeabilidade, utilizou-se a análise de correlação simples pelo programa Excel 97.

Na Tabela 2, são mostrados os resultados dos ensaios de permeabilidade do solo em campo e laboratório.

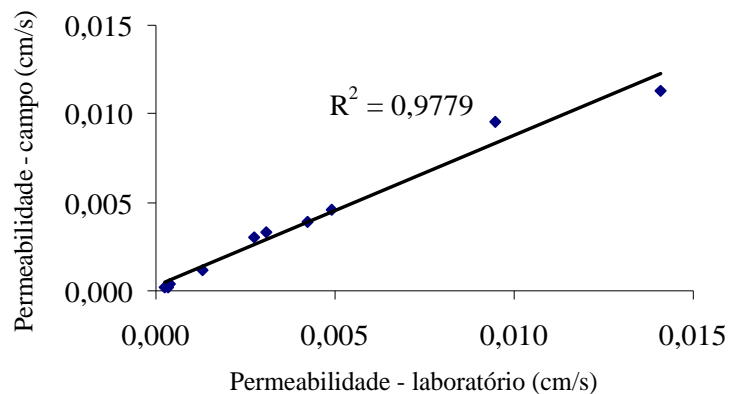
Analisando-se as Tabelas 1, 2 e 3, verifica-se a forte influência da presença de pequenos pedregulhos e cobertura vegetal na permeabilidade do solo, favorecendo a mesma. O amostrador projetado para a retirada de amostras de solo indeformadas apresentou ótima eficiência, constatada pela alta correlação existente entre os valores de coeficiente permeabilidade, medidos em laboratório e em campo, sendo igual a 0,989. Na Figura 4, é mostrado o gráfico de regressão linear entre os dois métodos utilizados para a determinação da permeabilidade do solo.

A composição granulométrica dos solos estudados está apresentada na Tabela 3. Nela verifica-se uma grande parcela de silte, principalmente nas áreas de erosão.

As densidades do solo e das partículas, e a resistência à penetração dos solos da sub-bacia estão apresentadas na Tabela 4, na qual se observa também a umidade do solo quando da coleta das amostras no campo. Nota-se que no local 4, a densidade do solo é elevada, mas em geral a na área estudada ela apresenta-se com resultados medianos. Já o local 2 foi o que apresentou uma maior de resistência à penetração no solo.

**TABELA 2** – Coeficiente de permeabilidade do solo.

Localidade	Permeabilidade medida em laboratório (m/s) x 10 <sup>-5</sup>	Permeabilidade medida em campo (m/s) x 10 <sup>-5</sup>
Amostra 1	1,30	1,15
Amostra 2	0,40	0,38
Amostra 3	14,10	11,30
Amostra 4	0,25	0,21
Amostra 5	3,07	3,28
Amostra 6	4,92	4,60
Amostra 7	2,72	2,99
Amostra 8	0,32	0,24
Amostra 9	9,45	9,51
Amostra 10	4,25	3,93

**FIGURA 4** – Relação entre a permeabilidade obtida no campo e em laboratório.**TABELA 3** – Composição granulométrica dos solos da sub-bacia do córrego Centenário.

Localidade	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)
Amostra 1	13,2	40,1	46,1
Amostra 2	2,7	77,1	20,2
Amostra 3	10,1	48,6	41,3
Amostra 4	31,5	51,4	17,2
Amostra 5	30,1	42,8	27,1
Amostra 6	3,7	70,1	26,2
Amostra 7	22,8	49,2	26,4
Amostra 8	7,0	72,9	20,1
Amostra 9	30,2	46,6	23,2
Amostra 10	8,3	40,1	51,6

Alguns solos mostrados na Tabela 4 aparecem com elevados teores de água. Esta observação se deve ao fato de que no período da amostragem ocorreram alguns períodos de chuvas. Os solos estudados apresentaram resultados com porosidade média e baixos valores de macroporosidade para algumas amostras (locais 2, 4, 7 e 8), e elevados valores de macroporosidade para as amostras dos locais 3 e 9.

Mediante as análises de correlação, verificou-se que os atributos físicos que melhor se correlacionaram com a permeabilidade do solo foram a macroporosidade, microporosidade, resistência à penetração e a densidade. Os demais atributos não apresentaram boa correlação com os coeficientes de permeabilidade dos solos estudados (Tabelas 6 e 7).

Ao contrário do que se esperava, os atributos porcentagem de areia e as porosidades totais (calculada e determinada), não possuíram um elevado coeficiente R. A razão deste comportamento é, certamente, a grande variabilidade das características físicas dos solos estudados. Um dos fatores que mais podem estar influenciando na baixa correlação seria a estrutura do solo, que variou muito para cada tipo de solo.

Outra propriedade interferente pode ser o fato da área pesquisada apresentar solos com porosidades totais semelhantes, mas distribuição de poros muito distinta. Solos que apresentam elevado teor de microporos conduzem a uma menor permeabilidade, enquanto que solos com elevada porcentagem de macroporos têm maiores valores de permeabilidade.

**TABELA 4** – Densidades do solo e das partículas, resistência à penetração e umidade (em base massa) da área estudada.

Localidade	Ds (kg/m <sup>3</sup> )	Dp (kg/m <sup>3</sup> )	RP (MPa)	Umidade (%)
Amostra 1	1200	2550	1,38	30,8
Amostra 2	1160	2900	1,67	37,0
Amostra 3	1110	2570	1,11	24,9
Amostra 4	1320	2630	1,44	24,6
Amostra 5	1150	2570	1,28	29,0
Amostra 6	1030	2630	1,36	31,9
Amostra 7	1130	2600	1,34	33,2
Amostra 8	1190	2760	1,56	40,4
Amostra 9	1120	2570	1,10	25,3
Amostra 10	1140	2600	1,19	36,7

**TABELA 5** – Porosidade total calculada (PTC), porosidade total determinada (PTD), macroporosidade (Macro) e microporosidade (Micro) dos solos estudados.

Localidade	PTC (%)	PTD (%)	Macro (%)	Micro (%)
Amostra 1	53,0	51,4	9,0	44,0
Amostra 2	58,4	55,2	3,9	54,5
Amostra 3	56,9	52,9	21,3	35,6
Amostra 4	49,9	46,9	2,3	47,6
Amostra 5	55,3	45,1	10,5	44,8
Amostra 6	56,9	50,3	9,6	47,3
Amostra 7	55,5	51,5	7,5	48,0
Amostra 8	56,5	49,0	5,1	51,4
Amostra 9	56,5	53,9	15,8	40,7
Amostra 10	56,2	51,7	9,1	47,1

**TABELA 6** – Análise de correlação entre os coeficientes de permeabilidade (k) obtidos em laboratório e os atributos do solo que mostraram pior correlação.

Atributos	k x %Areia	k x %Silte	k x %Argila	k x Dp	k x PTC	k x PTD
Coefficiente R	0,028	-0,302	0,334	-0,484	0,354	0,141

Dp = densidade de partículas; PTC = porosidade total calculada; PTD = porosidade total determinada.

**TABELA 7** – Análise de correlação entre os coeficientes de permeabilidade (k) obtidos em laboratório e os atributos do solo que mostraram melhor correlação.

Atributos	k x Ds	k x Macro	k x Micro	k x RP	k x kc
Coefficiente R	-0,649	0,960	-0,801	-0,813	0,989

Ds = densidade do solo; Macro = macroporosidade; Micro = microporosidade; RP = resistência à penetração; kc = permeabilidade do solo (campo).

Verifica-se, pela Figura 4 e Tabela 7, que se obteve uma excelente correlação entre os ensaios de permeabilidade no campo e no laboratório, podendo-se afirmar que o amostrador projetado apresentou boa eficiência na retirada de amostras de solo indeformadas.

O atributo físico do solo que melhor se correlacionou com os valores dos coeficientes de permeabilidade foi a macroporosidade. O amostrador projetado para esta pesquisa mostrou-se eficiente na retirada de amostras de solo para o ensaio de permeabilidade à carga variável, visto que os resultados de permeabilidade do solo obtidos em laboratório mostraram uma elevada correlação com os valores de campo.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONSO, U. R. **Rebaixamento temporário de aquíferos**. São Paulo: TECNOGEO/GEOFIX, 1999. 131 p.

FRANCISS, F. O. **Hidráulica de meios permeáveis: escoamento em meios porosos**. São Paulo: USP, 1980. 169 p.

MARTINS, S. G.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M. Avaliação de atributos físicos de um latossolo vermelho distroférico sob diferentes povoamentos florestais. **Revista Cerne**, Lavras, v. 8, n. 1, p. 32-41, 2002.

MESQUITA, M. G. B. F. **Caracterização estatística da condutividade hidráulica saturada do solo**. 2001. 110 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2001.

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, maio/jun. 2004.

NEVES, M. **Estudo da permeabilidade do solo colapsível da região de São Carlos**. 1987. 138 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1987.

PINTO, C. S. **Curso básico de mecânica dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.