

EFEITO DO MÉTODO NA DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA

D.L. CARDOSO¹; J.A. MEDEIROS²; M. ZANELLA³

RESUMO: O trabalho propõe avaliar diferentes metodologias quanto à repetibilidade de resultados na determinação da condutividade hidráulica em solos. Os coeficientes médios de condutividade hidráulica obtidos nos ensaios apresentaram valores próximos: $1,36\text{E-}06 \text{ m.s}^{-1}$ no permeâmetro de carga variável; $2,15\text{E-}07 \text{ m.s}^{-1}$ na câmara triaxial e $8,66\text{E-}06 \text{ m.s}^{-1}$ em campo. O estudo mostrou pequena dispersão dos resultados nos ensaios avaliados: para as amostras 1, 2 e 3, respectivamente, os coeficientes de determinação (R^2) foram 0,9417, 0,9768 e 0,9866, no permeâmetro de carga variável; 0,9998, 0,9668 e 0,9998 na câmara triaxial. No ensaio de campo avaliou-se o desvio padrão do tempo de percolação em relação à média: 0,75 segundos para três furos de sondagem ensaiados. Outro resultado significativo foi o baixo ângulo de inclinação das linhas de tendência: no permeâmetro de carga variável o coeficiente angular médio foi $3,40\text{E-}10$ e na câmara triaxial $2,33\text{E-}11$, mostrando que as linhas de tendência foram praticamente horizontais, representando a baixa variação dos resultados.

Palavras-chave: solo, permeabilidade, ensaios de percolação.

EFFECT OF METHOD ON DETERMINATION OF THE CONDUCTIVITY HYDRAULIC COEFFICIENT

SUMMARY: The paper intends evaluate different methodologies with relationship as the repetibility of results in the determination of the hydraulic conductivity in soils. The medium coefficients of hydraulic conductivity obtained in the tests presented close values: $1,36\text{E-}06 \text{ m.s}^{-1}$ in the load variable permeameter; $2,15\text{E-}07 \text{ m.s}^{-1}$ in the triaxial camera and $8,66\text{E-}06 \text{ m.s}^{-1}$ in situ. The study showed, through statistical analysis, the small dispersion of the results in the appraised tests: for the samples 1, 2 and 3, respectively, the determination coefficients (R^2) were 0,9417, 0,9768 and 0,9866, in the load variable permeameter; 0,9998, 0,9668 and 0,9998 in the triaxial camera; in situ, the standard deviation of the percolation time was evaluated in relation to the average: 0,75 seconds for three boreholes tested. Another significant result was the low inclination angle of the tendency lines: in the load variable permeameter of the medium angular coefficient went $3,40\text{E-}10$ and in to camera triaxial $2,33\text{E-}11$, showing that the tendency lines were practically horizontal, representing the low variation of the results.

Keywords: soil, permeability, percolation test.

INTRODUCAO: O conhecimento do coeficiente de condutividade hidráulica do solo se torna necessário para projetos de irrigação e drenagem, mas existem fatores que intervêm na repetibilidade de sua determinação. Segundo BELINCANTA (1992), os ensaios de permeabilidade em laboratório se caracterizam pela plena definição das condições de contorno,

¹ Doutor em Engenharia Civil, Professor Adjunto, Unioeste, CCET, Caixa Postal 711, CEP 85810-114, Cascavel, PR. Fone: (45)3220-3197. e-mail: deciolc@unioeste.br.

² Mestre em Geologia, Professor Assistente, Unioeste, CCET, Cascavel, PR.

³ Acadêmica de Engenharia Civil, Unioeste, CCET, Cascavel, PR.

sendo limitados na representatividade, devido, principalmente, ao tamanho das amostras trazidas do campo. Permeâmetros de carga variável são usados na determinação do coeficiente de condutividade em amostras de solo argiloso (VARGAS, 1977), podendo também ser obtido em conformidade com o ensaio consolidado drenado realizado em câmara de ensaios triaxiais, sem carregamento. Na câmara de ensaios triaxiais, a possibilidade de controle das condições de contorno em laboratório é extremamente vantajosa na identificação de fatores que intervêm na repetibilidade dos resultados (HEAD, 1986). Já os ensaios de campo se caracterizam por um volume maior de solo, portanto há uma melhoria no envolvimento de feições e peculiaridades do terreno. Uma outra característica importante nos ensaios “*in situ*” é a de eliminar uma série de inconvenientes, como a dificuldade de amostragem oferecida por algumas deformações naturais, especialmente em solo arenoso (OLIVEIRA & FILHO, 1996).

MATERIAIS E METODOS: Utilizou-se o solo do campus da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, classificado como Latossolo Vermelho distroférico típico (EMBRAPA, 1999). À profundidade de 1,00 m, retirou-se três amostras indeformadas de solo em anéis metálicos de diâmetro 4,25 cm e altura 5,00 cm (EMBRAPA, 1997), para ensaios no permeâmetro; e um bloco de 40 cm x 40 cm x 40 cm para moldagem de corpos de prova triaxiais com diâmetro 5,00 cm e altura 5,00 cm (HEAD, 1986). Os ensaios de campo foram conduzidos em três pontos, em uma área de 6,00 m². Os corpos de prova foram submetidos à saturação em bandejas com água a 2/3 da altura dos mesmos, até a constância de peso. Após saturação, os corpos de prova foram ensaiados no permeâmetro e na câmara triaxial, tomando-se medidas da variação na altura da lâmina de água em função do tempo. Os ensaios de campo foram conduzidos em furos de sondagem a trado. O ensaio é conduzido até se obter um comportamento linear no gráfico tempo-vazão, o qual possibilita a observância da estabilização da vazão (OLIVEIRA & FILHO, 1996). Os coeficientes de condutividade hidráulica são calculados, lançados em um gráfico de dispersão em função do tempo e feita a análise de regressão por meio do coeficiente de determinação (R²). Com o auxílio da linha de tendência pode-se identificar o ensaio que conduz à menor dispersão de resultados (COSTA & NETO, 1977). As determinações da porosidade do solo foram conduzidas conforme EMBRAPA (1997).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: No Quadro 1 observa-se os valores da porosidade do solo, notando-se pelos valores do desvio padrão que a amostragem por cravação dos anéis metálicos, para ensaios no permeâmetro, provocou maiores alterações na estrutura das amostras.

Quadro 1. Porosidade do solo em função do tipo de amostragem

amostra	porosidade [%]	
	permeâmetro	triaxial
1	64,38	63,47
2	63,21	63,86
3	61,38	64,37
média	62,99	63,90
desvio padrão	1,51	0,45

No Quadro 2 são mostrados os valores do coeficiente de condutividade hidráulica obtidos nos diferentes ensaios, com as respectivas médias e desvios padrão. Pode-se observar a alta

repetibilidade nos resultados dos ensaios na câmara triaxial, refletindo a vantagem deste tipo de ensaio pela possibilidade de controle das condições de contorno em laboratório e na repetibilidade dos resultados (HEAD, 1986). Vale destacar os resultados para a amostra na câmara triaxial, os quais apresentaram desvio padrão nulo. O controle no caso foi iniciar o ensaio de condutividade somente após verificação da constância do fluxo, por meio do acompanhamento da evolução da vazão em um gráfico do volume em função do tempo, construído em tempo real, ou seja, simultaneamente à realização do experimento, conforme é mostrado na Figura 1.

Quadro 2. Coeficientes de condutividade hidráulica do solo nos diferentes ensaios
amostra coeficiente de condutividade hidráulica [m.s⁻¹]

	permeâmetro		triaxial	
1	3,95E-07		3,79E-07	
	4,57E-07	média	3,83E-07	média
	5,16E-07	5,26E-07	3,86E-07	3,87E-07
	5,55E-07	desvio padrão	3,89E-07	desvio padrão
	5,80E-07	9,24E-08	3,92E-07	3,89E-09
	6,56E-07		3,95E-07	
2	1,31E-06		1,96E-08	
	3,2E-06	média	1,96E-08	média
	1,24E-06	1,72E-06	1,96E-08	1,96E-08
	1,97E-06	desvio padrão	1,96E-08	desvio padrão
	9,75E-07	8,38E-07	1,96E-08	0
3	1,12E-06		1,96E-08	
	1,41E-06	média	2,3E-07	média
	1,5E-06	1,83E-06	2,31E-07	2,33E-07
	1,74E-06	desvio padrão	2,33E-07	desvio padrão
	1,57E-06	3,74E-07	2,34E-07	2,32E-09
	1,91E-06		2,35E-07	
	2,43E-06		2,36E-07	

No Quadro 3 mostra-se para cada furo de sondagem os coeficientes de condutividade hidráulica determinados *in situ*. Nota-se que a permeabilidade “*in situ*” se mostrou mais alta do que nos ensaios de laboratório. Dois fatores de grande influência podem ser citados. O volume de solo analisado nos ensaios de campo é extremamente maior que o volume analisado no laboratório, o que torna as condições de contorno muito diferentes, inclusive a possível ocorrência de trincas de tração, fissuras, etc. A saturação do solo também tem grande influência, pois o volume a ser saturado é muito maior que o volume das amostras retiradas, assim a garantia da saturação completa é de fundamental importância para a obtenção de resultados confiáveis.

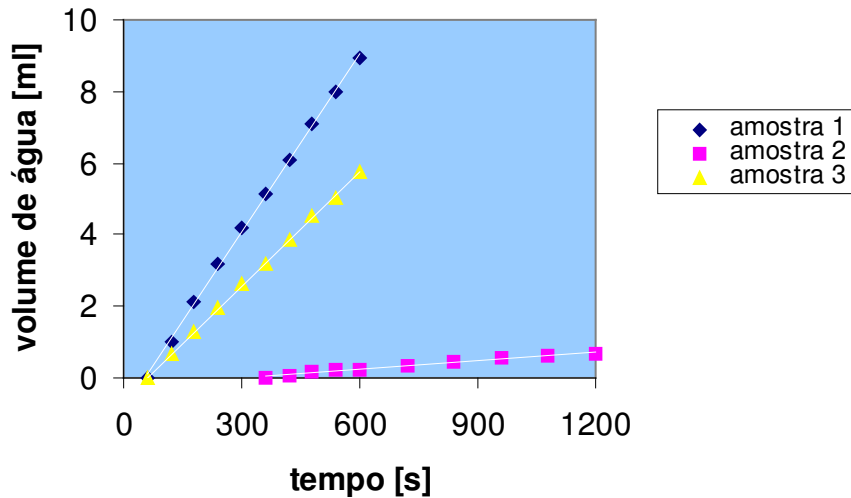


Figura 1. Comportamento volume-tempo para verificação da constância de fluxo no solo.

Quadro 3. Coeficientes de condutividade hidráulica in situ

sondagem	condutividade hidráulica in situ				tempo [s]	k médio [m.s ⁻¹]
	h [m]	L [m]	r [m]	Cu		
1	1,00	0,90	4,50	45	59	4,79E-06
2	0,97	0,87	4,50	45	30	9,71E-06
3	0,98	0,88	4,50	45	25	1,15E-05

CONCLUSÃO: Os coeficientes de condutividade hidráulica obtidos nos ensaios de laboratório apresentaram valores próximos: no permeâmetro de carga variável, nas amostras 1, 2 e 3, respectivamente, 5,26E-07, 1,72E-06 e 1,83E-06; na câmara triaxial, 3,91E-07, 1,96E-08 e 2,35E-07). Os coeficientes obtidos nos ensaios de campo mostraram-se ligeiramente maiores que os resultados de laboratório (4,79E-06, 9,71E-06 e 1,15E-05, nos furos de sondagem 1, 2 e 3, respectivamente. A análise estatística mostrou pequena dispersão dos resultados, especialmente naqueles obtidos na câmara triaxial ($R^2 = 0,9998$, $R^2 = 0,9668$ e $R^2 = 0,9998$). Outro resultado importante foi o baixo ângulo de inclinação da linha de tendência, mostrando que a câmara triaxial pode ser utilizada na determinação segura do coeficiente de condutividade hidráulica dos solos. O estudo mostrou ainda que, além da precisão dos equipamentos, é necessário conhecimento dos fatores intervenientes e de suas respectivas influências na condutividade, para a definição de metodologias confiáveis de determinação, e assim, reduzir o grau de incerteza dos parâmetros de projeto usualmente utilizados.

BIBLIOGRAFIA

- BELINCANTA, A; **Fundamentos Básicos dos Ensaio de Permeabilidade dos Solos**. Maringá: Editora da Universidade Estadual de Maringá. 1992.
- COSTA NETO, P.L.O., **Estatística**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1977.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solo**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1999. 412 p.
- HEAD, K. H. **Manual of Soil Laboratory Testing**. Volume 3, ELE International, 1986.
- OLIVEIRA, M.S. & FILHO, D.C. **Ensaio de Permeabilidade em Solos**. São Paulo: Boletim da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. 1996.
- VARGAS, M., **Introdução à Mecânica dos Solos**. São Paulo: Editora McGraw-Hill do Brasil. 1977.