

Determinação da Condutividade Hidráulica em Ensaios de Campo: Infiltração em Sondagens e *Slug test* em Poços de Monitoramento.

Fernando de Medeiros Ferraz¹; Nilton Jorge Miyashiro¹; Marcos Tanaka Riyis²; Rodrigo César de Araujo Cunha³

Resumo. O coeficiente de condutividade hidráulica (K) é um parâmetro imprescindível para o estudo do fluxo da água subterrânea, sendo determinante em sua vazão e velocidade e, por isto, fundamental para o estudo de áreas contaminadas. O objetivo deste trabalho foi comparar os valores de K obtidos em ensaios de *slug test* realizados em poços de monitoramento e ensaios de infiltração em sondagens executadas ao lado dos poços. Todos os ensaios foram posicionados no mesmo substrato geológico, representado pelo solo de alteração do embasamento cristalino. Os valores de K obtidos nos ensaios de *slug test* foram calculados pelos métodos de Hvorslev [1] e Bouwer & Rice [2] e comparados com os determinados nos ensaios de infiltração em sondagens. Os resultados encontrados para os ensaios mostraram-se muito semelhantes, com valores oscilando em torno de uma ordem de grandeza (10^{-5} a 10^{-4} cm/s), levando à conclusão de que o ensaio de infiltração é um método tão representativo quanto o *slug test* para a determinação da condutividade hidráulica, com a vantagem de ter baixo custo de execução e permitir sua realização em camadas aquíferas menos espessas do que a seção filtrante de um poço de monitoramento.

Palavras-chave: condutividade hidráulica, *slug test*, ensaio de infiltração.

Abstract. The hydraulic conductivity coefficient (K) is an essential parameter for the study of groundwater flow, affecting the rate of water flow and flow speed, therefore, being fundamental for the studies of contaminated sites. The objective of this study was to compare the values of hydraulic conductivity obtained in slug tests performed in monitoring wells and infiltration tests performed in percussion drills located beside the wells. All the tests were positioned in the same geological substrate, represented by

ENGESOLOS/QUALCOMTEC¹; Centro Universitário SENAC/ECD Sondagens Ambientais²; Centro Universitário SENAC/CETESB³
engesosolos@engesosolos.com.br; marcos@ecdambiental.com.br; rodrigo.cacunha@sp.senac.br

weathering rock of the crystalline basement. The K values obtained from slug tests were calculated by the methods of Bouwer & Rice [2] and Hvorslev [1] and were compared with those determined in infiltration tests in percussion drills. The results for both types of tests were very similar, with values oscillating around one order of magnitude (10^{-5} to 10^{-4} cm/s), allowing to conclude that both the slug test as the infiltration test are representative methods for determining hydraulic conductivity.

Key words: hydraulic conductivity, slug test, infiltration test.

1 - Introdução

Para o aproveitamento de áreas contaminadas ou potencialmente contaminadas, o conhecimento do meio físico (geologia, pedologia, hidrogeologia e geomorfologia) é fundamental para a elaboração do Modelo Conceitual da área e, conseqüentemente, para a elaboração de um diagnóstico acurado e de um plano de intervenção eficaz.

Dentro desta situação, a hidrogeologia é de extrema importância para o estudo do transporte de contaminantes no meio físico subsuperficial, onde o entendimento das propriedades hidráulicas dos aquíferos é fundamental. Podem-se dividir os parâmetros hidráulicos que devem ser analisados, em suas propriedades de fluxo e características de armazenamento. Dentro das propriedades de fluxo destaca-se a condutividade hidráulica (K), um coeficiente de proporcionalidade que se refere à facilidade da água em se mover num aquífero sob a influência de um gradiente hidráulico [3].

A correta determinação deste coeficiente ajuda a caracterizar o fluxo da água subterrânea de forma quantitativa e qualitativa, bem como permite um adequado dimensionamento das plumas de contaminação e seus deslocamentos, além de subsidiar a elaboração de projetos de sistemas de remoção e tratamento de contaminantes. Para sua determinação são necessários ensaios que podem ser de campo ou laboratório, sendo os de campo os mais frequentes, pois apresentam uma boa representatividade e menor custo.

No segmento de diagnóstico de áreas contaminadas, os ensaios de campo mais usados são o teste de bombeamento e o *slug test*. Os ensaios de infiltração em sondagens são normalmente utilizados na área da geologia de engenharia e são realizados, quando necessário, nas sondagens de simples reconhecimento de um terreno. Embora seu processo de execução seja bem mais rudimentar que o *slug test*,

seus resultados são igualmente confiáveis. Esses ensaios têm a vantagem de ter baixo custo, não necessitando de amostragem especial e nem de instalação de poços de monitoramento para sua execução, bastando sondagens simples, com as quais pode-se atingir uma camada específica de uma área que necessite de detalhamento.

2 - Objetivos

Este trabalho tem por objetivo analisar e comparar os valores de condutividade hidráulica obtidos com ensaios de campo: infiltração em sondagens e *slug tests* executados em poços de monitoramento. O ensaio de infiltração é muito utilizado em investigações geotécnicas [4], e o *slug test* em estudos hidrogeológicos ([5];[6]). Se ambos se mostrarem compatíveis, será possível utilizar ensaios de infiltração em investigações geoambientais de áreas contaminadas.

3 - Métodos Utilizados

No desenvolvimento deste estudo foram utilizados os poços de monitoramento e os dados de *slug tests* obtidos por Ongaratto et al. (2012)[6]., além de sondagens e ensaios de infiltração realizados em 2013, especificamente para possibilitar a comparação dos resultados.

Os ensaios de *slug test* foram realizados nos poços de monitoramento e os valores de K foram calculados pelos métodos de *Hvorslev* [1] e *Bouwer & Rice* [2]. Ao lado de cada poço de monitoramento, distando aproximadamente um metro, foram executadas sondagens à percussão, com trecho a ser ensaiado semelhante ao dos poços de monitoramento, com um metro de comprimento e posicionados na mesma profundidade e litologia onde foram realizados os ensaios de infiltração.

4 - Resultados e Conclusões

Os valores de K obtidos nos ensaios de *slug test* e nos ensaios de infiltração estão resumidos na tabela 1.

Tabela 1: Resumo dos valores obtidos para o coeficiente de condutividade hidráulica K.

Poço de Monitoramento	<i>Slug test</i>			Infiltração	
	Ensaio	Método de <i>Hvorslev</i> K (cm/s)	Método de <i>Bouwer & Rice</i> K (cm/s)	K (cm/s)	Sondagem a Percussão
PM 01	Inserção	$1,17 \times 10^{-4}$	$6,97 \times 10^{-4}$	$2,13 \times 10^{-4}$	SP 01
	Retirada	$1,58 \times 10^{-4}$	$9,86 \times 10^{-4}$		
PM 02	Inserção	$9,58 \times 10^{-5}$	$5,44 \times 10^{-4}$	$1,11 \times 10^{-4}$	SP 02
	Retirada	$7,49 \times 10^{-5}$	$4,17 \times 10^{-4}$		
PM 03	Inserção	$1,61 \times 10^{-4}$	$8,88 \times 10^{-4}$	$1,76 \times 10^{-4}$	SP 03
	Retirada	$3,25 \times 10^{-5}$	$2,02 \times 10^{-4}$		
PM 04	Inserção	$5,93 \times 10^{-5}$	$3,52 \times 10^{-4}$	$9,15 \times 10^{-5}$	SP 04
	Retirada	$4,08 \times 10^{-5}$	$2,33 \times 10^{-4}$		

Os dados apresentados na tabela 1 demonstram uma boa correlação entre os valores de condutividade hidráulica (K) determinados nos ensaios de *slug test* e de infiltração. A variação entre eles é pequena, cerca de uma ordem de grandeza, oscilando entre 10^{-5} a 10^{-4} cm/s.

A regularidade dos valores de K obtidos pelos ensaios indica uma boa qualidade para os dados, que são compatíveis com os apresentados em literatura para solos de alteração do embasamento cristalino.

Desta forma, pode-se afirmar que os ensaios de infiltração em sondagens têm uma eficiência comparável aos ensaios de *slug test*, podendo até substituí-los na determinação da condutividade hidráulica sem prejuízos para os resultados, com a vantagem de permitir a realização desse ensaio em camadas de menores espessuras, mais específicas e também na zona não saturada.

Referências

- [1] HVORSLEV, M. J. ***Time lang and soil permeability in ground water observations***: Vicksburg, Miss U S Army Corps of Engineers Waterwaus Experiment Station, Bulletin.1951. p 36 - 50.
- [2] Bouwer, H.; RICE, R. C. **A Slug test method for determining hydraulic conductivity of unconfined aquifers with completely or partially penetrating wells, water**. Resourcers Research, 1976.vol 12 nº3, p 423 – 428.
- [3] CLEARY, R. W. **Águas subterrâneas**. Princenton Groundwater Inc.: Clean Environment Brasil, 1989. 117 p. Disponível em: <<http://www.clean.com.br/cleary.pdf>. >
- [4] AZEVEDO, A. A.; ALBUQUERQUE FILHO, J. L. **Ensaio de permeabilidade em solo: Orientações para sua execução no campo**. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA – ABGE. São Paulo, 2013. 80 p.
- [5] FETTER, C. W. ***Applied Hydrogeology. 4ª ed.*** Prentice-Hall, Inc., USA, 2001. ISBN 0-13-088239-9, 598 p + CD-ROM.
- [6] ONGARATTO, C.; ESPÓSITO, M.; NASCIMENTO, N. C. **Análise Comparativa dos Valores de Condutividade Hidráulica em Manto de Alteração através de Ensaio Laboratoriais e de Campo**. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-graduação em Gerenciamento de Áreas Contaminadas) – Serviço Nacional de Aprendizagem – SENAC, São Paulo, 2012. P 55.