

Avaliação da permeabilidade de um solo argiloso com uso do permeâmetro Guelph

Evaluation of the permeability of a clayey soil using Guelph Permeameter

RESUMO

Fábio Reyge Takenaga

fabiotakenaga@alunos.utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Paraná, Brasil

Kawana Lopes Ribeiro

kawana-lobes@hotmail.com

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Paraná, Brasil

Mariana Alher Fernandes

marianaalher@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Paraná, Brasil

A condutividade hidráulica é um parâmetro de permeabilidade, onde representa a facilidade ou dificuldade que a água percorre no interior do solo, podendo ser determinada através de ensaios laboratoriais ou em campo. O objetivo deste trabalho é a determinação da condutividade hidráulica saturada fazendo o uso do permeâmetro Guelph para um solo argiloso localizado nas proximidades do Laboratório de Geotecnia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Apucarana. Os ensaios foram realizados em quatro pontos distintos utilizando a técnica de uma altura de carga hidráulica. Os valores de condutividade hidráulica saturada apresentaram uma variação da ordem de 10^{-5} a 10^{-4} cm/s sendo condizentes com a faixa de valores de pesquisas encontradas na literatura técnico científica para o solo da região. Os resultados mostram que o solo em estudo apresenta um grau de permeabilidade baixo e possui predominância de fração de finos.

PALAVRAS-CHAVE: Ensaios. Água. Percolação.

ABSTRACT

The hydraulic conductivity is a parameter of the permeability that represents the facility or difficulty that water flows inside the soil. The soil permeability can be determined through laboratory or field tests. The objective of this work is to determine the saturated hydraulic conductivity using the Guelph permeater in a clayey soil located near of the Geotechnical Laboratory of the Federal Technological University of Paraná, Câmpus Apucarana. The tests were carried out at four different points using the hydraulic load height technique. The values of saturated hydraulic conductivity applied varied from 10^{-5} to 10^{-4} cm/s. These values are befitting with the range of research values found in the technical literature for the region. The results show that the studied soil has a low permeability degree and present fines fraction in your composition.

KEYWORDS: Tests. Water. Percolation.

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



INTRODUÇÃO

O estudo da permeabilidade de um solo é de extrema importância para diversas áreas de atuação, inclusive a Engenharia Civil, pois permite prever e até mesmo solucionar problemas de âmbito geotécnico. O termo condutividade hidráulica é um parâmetro hidráulico do solo utilizado para representar a permeabilidade do solo, expressando a facilidade ou dificuldade com que a água percorre o interior do solo, ou seja, sua capacidade de drenagem, podendo ser determinada através de ensaios laboratoriais ou ensaios *in situ*.

A maioria dos ensaios de campo e de laboratório possibilitam apenas determinar a condutividade hidráulica saturada do solo como os ensaios de carga constante (para solos mais granulares), carga variável (para solos mais finos), infiltrômetro do duplo anel, furo de sondagem. O ensaio com o infiltrômetro a disco, ou infiltrômetro de disco, permite medir diretamente a condutividade hidráulica do solo não saturado enquanto que, com o permeômetro Guelph, é possível determinar diretamente a condutividade hidráulica saturada de campo e indiretamente a condutividade hidráulica não saturada.

Em 1983, Reynolds e Elrick elaboraram o permeômetro Guelph o qual foi aperfeiçoado na *University of Guelph*, Canadá. Este equipamento é utilizado para a realização de ensaios *in situ* sendo considerado como um método de fácil manuseio, ter maior exatidão no cálculo da condutividade hidráulica saturada e resultar num menor impacto ao solo (RAGAB e COOPER, 1990).

O equipamento do permeômetro Guelph permite medir a condutividade hidráulica saturada dos solos para uma faixa de 10^{-2} a 10^{-5} cm/s e aplicar uma altura de carga hidráulica de 2,5 cm a 25,0 cm (SOILMOISTURE EQUIPMENT CORP., 2009). A condutividade hidráulica saturada pode ser determinada por meio da técnica de uma altura de carga (ELRICK *et al.*, 1989), técnica de duas alturas de carga (REYNOLDS E ELRICK, 1985), técnica de duas alturas de carga com escala heterogênea (ELRICK *et al.*, 1989) e método de Philip (PHILIP, 1985).

Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo apresentar resultados de quatro ensaios realizados com o uso do permeômetro Guelph em um solo localizado na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Apucarana, a partir da determinação da condutividade hidráulica saturada e estimativa da condutividade hidráulica não saturada.

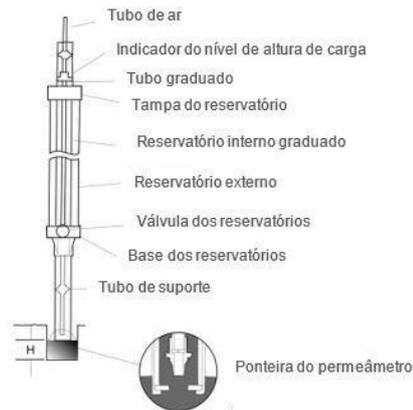
MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo utilizada nesta pesquisa está localizada atrás do Laboratório de Geotecnia (Bloco P) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Apucarana. Os ensaios de permeabilidade foram conduzidos com o uso do permeômetro Guelph numa área descampada, com presença de gramíneas.

O permeômetro Guelph é um equipamento de furo e de carga hidráulica constante, que opera através do princípio do tubo de Mariotte possibilitando determinar valores da condutividade hidráulica saturada de campo (k_{fs}), potencial matricial de fluxo (ϕ_{Gm}) e sorção do solo (α). Este equipamento é composto por uma ponteira, um tubo de suporte, dois reservatórios de água (interno e externo), um tubo graduado e um tubo de ar interligando a parte inferior do tubo de suporte

até a parte superior do tubo de ar (TAKENAGA; RIBEIRO; FERNANDES, 2019). No conjunto do equipamento também estão inclusos um tripé (para o apoio do permeâmetro), ferramentas para a escavação e regularização do furo de sondagem, bomba à vácuo e um recipiente portátil para armazenamento de água. A Figura 1 apresenta um esquema do permeâmetro Guelph, indicando seus principais componentes.

Figura 1 – Esquema do Permeâmetro Guelph



Fonte: Macías; Vargas; Arellano (2018).

A abertura do furo de sondagem foi executada com o auxílio do trado tipo cavadeira até a profundidade de 45 cm, posteriormente sendo utilizado o trado reto e a escova para finalizar a execução desse furo. Após esse procedimento, o equipamento foi devidamente montado e instalado no furo, como mostra a Figura 2. Os ensaios foram iniciados ao disparar o cronômetro após ajustar a altura de carga de 5 cm no tubo graduado, sendo realizado diversas leituras no reservatório de água em intervalos constantes de tempo (variando de 1 a 2 minutos) até a estabilização do ensaio, ou seja, até que fosse atingida a mesma variação de três leituras consecutivas do nível de água do reservatório e do tempo.

Figura 2 – Equipamento instalado no furo de sondagem



Fonte: Takenaga; Ribeiro; Fernandes (2019).

Nesse trabalho foram realizados quatro ensaios empregando a técnica de um estágio de carga hidráulica (ELRICK et al., 1989), a qual consiste em determinar os parâmetros k_{fs} e Φ_{Gm} a partir da Eq. (1) e Eq. (2).

$$k_{fs} = \frac{CQ}{\{(2\pi H^2) + [\pi(a^2)C] + [(2\pi)\left(\frac{H}{\alpha}\right)]\}} \quad (1)$$

$$\phi_{Gm} = \frac{CQ}{\{[(2\pi H^2) + (\pi a^2 C)]\alpha + (2\pi H)\}} \quad (2)$$

em que: H expressa a altura de carga hidráulica utilizada no ensaio, a representa o raio do furo de sondagem, C corresponde ao fator de forma e que depende da relação entre H/a e do tipo de solo, Q representa a vazão em regime permanente e que depende da utilização de um ou dois reservatórios de água, α corresponde ao parâmetro sugerido (Tabela 1) por Elrick et al. (1989), sendo que seu valor depende do tipo do solo (macroporosidade e textura).

Tabela 1 – Valores de α sugeridos por Elrick et al (1989)

α (cm ⁻¹)	TIPO DE SOLO
0,01	Argilas compactas (aterros, liners, sedimentos lacustres e marinhos)
0,04	Solos de textura fina, principalmente sem macroporos e fissuras
0,12	Argilas até areias finas com alta a moderada quantidade de macroporos e fissuras
0,36	Areia grossa inclui solos com macroporos e fissuras

Fonte: Soto; Chang; Vilar (2009).

Já a estimativa da condutividade hidráulica não saturada pode ser realizada a partir do modelo empírico de Gardner (1958), calculada em função do potencial do solo, como mostra a Eq. (3), em que o parâmetro α expressa o valor da relação entre a condutividade hidráulica saturada e o potencial matricial, como mostra Eq. (4).

$$k(\phi) = k_{fs} \cdot e^{\alpha \cdot \phi} \quad (3)$$

$$\alpha = \frac{k_{fs}}{\phi_{Gm}} \quad (4)$$

em que: $k(\phi)$ representa a condutividade hidráulica não saturada, k_{fs} expressa a condutividade hidráulica saturada do solo em campo, ϕ corresponde ao potencial matricial do solo e α corresponde ao parâmetro resultante da relação entre a condutividade hidráulica saturada e o potencial matricial de fluxo.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 2 apresenta um resumo dos dados e parâmetros resultantes dos ensaios com o permeâmetro Guelph (denominados de PG) como tempo transcorrido de cada ensaio, velocidade de infiltração assim como os valores da condutividade hidráulica saturada, potencial matricial de fluxo e parâmetro α . Observa-se que o tempo para estabilização dos ensaios variou de 38 minutos a 78 minutos enquanto que a velocidade de infiltração variou de 0,150 cm/min e de 0,450 cm/min. Já o valor do parâmetro α foi adotado de acordo com a Tabela 1 devido a textura fina do solo em campo. Além disso, também é possível notar que a condutividade hidráulica saturada variou da ordem de 10^{-4} a 10^{-5} cm/s enquanto

o potencial matricial de fluxo variou de 10^{-3} a 10^{-4} cm²/s (TAKENAGA; RIBEIRO; FERNANDES; 2019, TAKENAGA *et al.*, 2020).

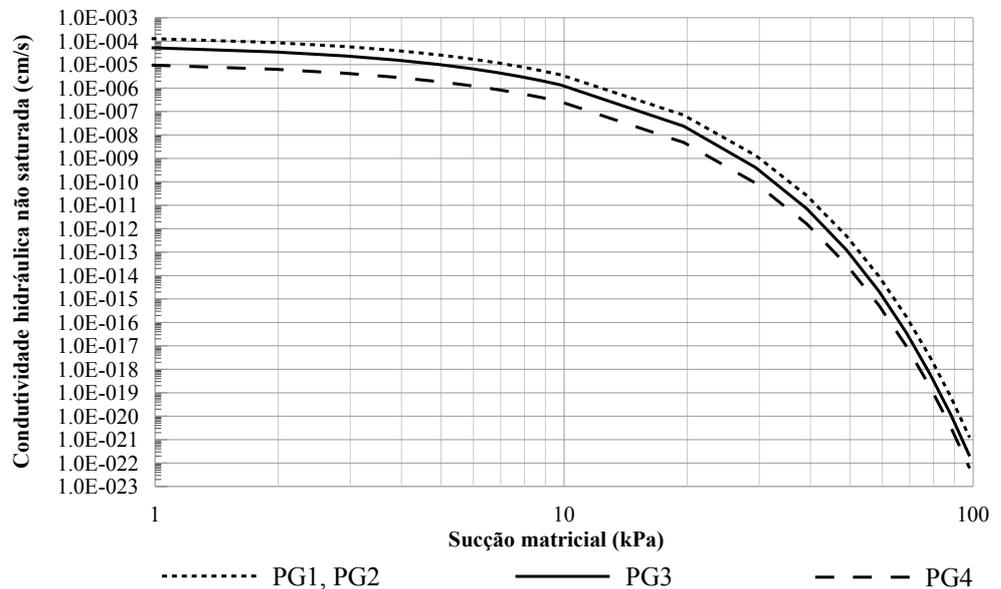
Tabela 2 – Dados e parâmetros resultantes dos ensaios com permeâmetro Guelph

Ensaio	PG1	PG2	PG3	PG4
Tempo (min)	78	48	38	74
Velocidade de infiltração – R (cm/min)	0,375	0,375	0,150	0,450
Condutividade Hidráulica Saturada - k_{fs} (cm/s)	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$7,7 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$
Potencial Matricial de Fluxo - Φ_{Gm} (cm ² /s)	$4,8 \cdot 10^{-3}$	$4,8 \cdot 10^{-3}$	$1,9 \cdot 10^{-3}$	$3,5 \cdot 10^{-4}$
Parâmetro α (cm ⁻¹)	0,4	0,4	0,4	0,4

Fonte: adaptado de Takenaga, Ribeiro, Fernandes (2019); Takenaga *et al.* (2020).

Já a Figura 3 apresenta a estimativa da condutividade hidráulica não saturada do solo, tendo a mesma sido determinada para os ensaios PG1 ao PG4 com o uso da equação de Gardner (1958), representada pela Eq. (3). Observa-se nesta figura que a representação da condutividade hidráulica não saturada foi efetuada em função da sucção matricial, ou seja, nesse caso a sucção matricial foi determinada através da multiplicação do potencial matricial pela aceleração da gravidade. Além disso, os valores de condutividade hidráulica não saturada atingiram valores na ordem de $1,0 \cdot 10^{-22}$ cm/s para sucção matricial de 100 kPa.

Figura 3 – Condutividade hidráulica não saturada



Fonte: Takenaga *et al.* (2020).

A Tabela 3 reúne os resultados de três pesquisas que utilizaram o permeâmetro Guelph no solo da região da área de estudo (SOUSA E CELLIGOI, 2011; BARBOSA, 2014; RODRIGUEZ *et al.*, 2015), sendo apresentado para cada um deles os valores e/ou faixa de variação da condutividade hidráulica saturada em campo. Portanto, é possível observar que ocorre uma variação de $1,3 \cdot 10^{-5}$ a $1,0 \cdot 10^{-3}$ cm/s na condutividade hidráulica saturada do solo da região que,

consequentemente, os valores do presente trabalho se enquadram na faixa de variação dessas pesquisas.

Tabela 3 – Dados de pesquisas desenvolvidas na região

Autor(es)	Condutividade Hidráulica Saturada - k_{fs} (cm/s)
BARBOSA (2014)	$1,3 \cdot 10^{-5}$ a $1,9 \cdot 10^{-4}$
RODRIGUEZ <i>et al</i> (2015)	$3,7 \cdot 10^{-4}$
SOUZA e CELLIGOI (2011)	$1,4 \cdot 10^{-4}$ a $1,0 \cdot 10^{-3}$

Fonte: Autoria própria (2020).

De acordo com os valores de condutividade hidráulica saturada encontrados nessa pesquisa, estes podem ser classificados como baixo grau de permeabilidade de acordo com Mello e Teixeira (1967 apud SANTOS, 2005) e o tipo de solo correspondendo ao das areais finas siltosas e argilosas, siltes argilosos segundo Terzaghi e Peck (1967 apud SANTOS, 2005).

CONCLUSÃO

Os valores encontrados de condutividade hidráulica saturada em campo com uso do permeâmetro Guelph foram condizentes com as pesquisas técnico-científicas realizadas na região da área de estudo com o mesmo equipamento, cujo solo superficial usualmente é classificado como solo residual de basalto. Nesse sentido, o solo residual de basalto seria um indicativo da presença de fração fina no solo (como partículas de silte e argila), podendo este solo apresentar condutividade hidráulica saturada inferior a 10^{-3} cm/s. Logo, os resultados de condutividade hidráulica saturada equivalem a solos com areias finas siltosas e argilosas, siltes argilosos e baixo grau de permeabilidade.

AGRADECIMENTOS

Os autores¹² agradecem a oportunidade de participarem do programa de Iniciação Científica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Apucarana.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, M. C. **Utilização do permeâmetro Guelph no antigo depósito de resíduos de Rolândia-PR**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2014. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/5288>. Acesso em: 30 ago. 2020.

ELRICK, D. E.; REYNOLDS, W. D.; TAN, K. A. Hydraulic conductivity measurements in the unsaturated zone using improved well analysis. **Groundwater Monitoring Review**, v. 9, n. 3, p. 184-193, 1989.

GARDNER, W. R. Some steady-state solutions of the unsaturated moisture flow equation with application to evaporation from a water table. **Soil Science**, v. 85, n. 4, p. 228-232, 1958.

MACÍAS, J.; VARGAS, A.; ARELLANO, F. Conductividad hidráulica en dos sitios del valle Central de Costa Rica: Análisis comparativo de tres metodologías de ensayo en la zona no saturada. **Revista Geológica de América Central**, v. 59, p. 75-100, 2018.

PHILIP, J. R. Approximate analysis of the borehole permeameter in unsaturated soil-water. **Resources Research**, v. 21, n. 7, p. 1025-1033, 1985.

RAGAB, R.; COOPER J. D. Variability of unsaturated zone water transport parameters: Implications for hydrological modelling.1. In situ measurements. **Journal of Hydrology**, v. 148, 1990.

REYNOLDS, W. D.; ELRICK, D. E. In situ measurement of field-saturated hydraulic conductivity, sorptivity and the α -parameter using the Guelph permeameter. **Soil Science**, v. 140, n. 4, p. 292-302, 1985.

RODRIGUEZ, T. T.; WEISS, L. A.; TEIXEIRA, R. S.; BRANCO, C. J. M. C. Permeabilidade de solo laterítico por diferentes métodos. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 36, n. 2, p.17-32, 2015.

SANTOS, M. M. **Avaliação hidrogeológica para determinação da vulnerabilidade natural do aquífero freático em área selecionada na cidade de Londrina (PR)**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geociências – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, p. 159, 2005.

SOILMOISTURE EQUIPMENT CORP. **Guelph Permeameter**. Operating - Instructions, Soilmoisture manual. rev. 8, [S. l.: s. n.], 2009. p. 1-25.

SOTO, M. A.; CHANG, K. H.; VILAR, O. M. Análise do método do permeâmetro guelph na determinação da condutividade hidráulica saturada. **Águas Subterrâneas**, v. 23, n. 1, p. 137-152, 2009.

SOUSA, R. V. B.; CELLIGOI, A. Avaliação da condutividade hidráulica do solo em área agrícola e florestada na cidade de Londrina (PR) através do permeâmetro Guelph. **Boletim de Geografia**, v. 29, n. 2, p. 123-133, 2011.

TAKENAGA, F. R.; RIBEIRO, K. L.; FERNANDES, M. A. Determinação da condutividade hidráulica saturada do solo por meio do Permeâmetro Guelph. *In:*

ENCONTRO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA, 11., 2019, Maringá.
Anais [...]. Maringá: UNICESUMAR, 2019. p. 1-4.

TAKENAGA, F. R.; RIBEIRO, K. L.; OLIVEIRA, A. F.; LISBOA, T. A. G.; FERNANDES, M. A. Determinação da condutividade hidráulica saturada e estimativa da infiltração de um solo argiloso da região Noroeste do Paraná. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 17., 2020, Campinas.
Anais [...]. Campinas, SP: COBRAMSEG, 2020. p. 1-8 (*no prelo*)