

PROJETO DE UM PERMEÂMETRO DE CARGA VARIÁVEL

Almeida S. C. A. de ¹; Silva C. E. do L. da ¹; RodrigueT.V¹

¹. Grupo de Pesquisa Engenharia Mecânica, Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Iguaçu - UNIG, Av. Abílio Augusto Távora, 2134 - Jardim Nova Era, 26275-580, Nova Iguaçu – RJ

190067220@aluno.unig.edu.br, ce76997@gmail.com, telmoviana@gmail.com

Resumo – Este trabalho apresenta um permeâmetro de carga variável desenvolvido para avaliar a permeabilidade do solo, priorizando solos granulares. Baseado em conceitos fundamentais como a Lei de Darcy, o equipamento foi projetado visando replicar condições práticas e aplicar os resultados em diversas áreas de pesquisa. O processo de montagem e operação é simplificado, facilitando a compreensão dos usuários, e o equipamento é composto por componentes acessíveis, mantendo os custos reduzidos. A metodologia de ensaio inclui cuidadosa preparação do corpo de prova, vedação e saturação, assegurando resultados precisos e reproduzíveis na análise da permeabilidade do solo. O permeâmetro, uma ferramenta valiosa, contribui para o avanço da compreensão teórica da percolação em solos granulares, desempenhando um papel crucial na pesquisa e aplicação prática em engenharia civil.

(Palavras-chave: Permeâmetro de carga variável, permeabilidade do solo, solos granulares)

Abstract - This work presents a variable load permeameter developed to evaluate soil permeability, prioritizing granular soils. Based on fundamental concepts such as Darcy's Law, the equipment was designed to replicate practical conditions and apply the results in various areas of research. The assembly and operation process are simplified, making it easier for users to understand, and the equipment is made up of accessible components, keeping costs low. The test methodology includes careful preparation of the test specimen, sealing and saturation, ensuring accurate and reproducible results in the analysis of soil permeability. The permeameter, a valuable tool, contributes to advancing the theoretical understanding of percolation in granular soils, playing a crucial role in research and practical application in civil engineering.

(Keywords: Variable head permeameter, soil permeability, granular soils)

1 INTRODUÇÃO

A pesquisa nas propriedades hidráulicas do solo é essencial para compreender os mecanismos de transporte de água e contaminantes no ambiente subsuperficial. Neste contexto, a implementação de tecnologias avançadas, como o permeâmetro de carga variável, representa um passo significativo para aprimorar nossa compreensão desses processos. Este estudo se concentra na análise da permeabilidade do solo com base na condutividade hidráulica, utilizando um permeâmetro de carga variável recém-integrado no laboratório do programa de graduação desta instituição. O objetivo central deste projeto é conduzir testes que não apenas atendam aos padrões normativos, como os estabelecidos pela NBR 14545 (2021) para solos granulares com coeficientes inferiores a 10 cm/seg, mas também replicar fielmente condições realistas do cotidiano. A aplicabilidade prática dos resultados é uma prioridade, visando contribuir para diversas áreas de pesquisa, desde a engenharia ambiental até a geotecnia.

O solo, enquanto meio permeável, apresenta desafios dinâmicos e variáveis para a engenharia. O entendimento do fluxo de fluidos através dos poros não apenas permite a aplicação de teorias

clássicas, como a Lei de Darcy, mas também abre portas para abordar desafios contemporâneos. A partir desse projeto será possível ver em ação diversos conceitos como o da Lei de Darcy e o da condutividade hidráulica que é a propriedade do solo para permitir, com maior ou menor facilidade, o fluxo de água através dos seus grãos e geralmente é expressa em m/s. Esta propriedade depende dos vazios conectados no solo, onde a água pode fluir dos pontos de alta para baixa energia, e da porcentagem de finos que contém o solo (Lopez, 2012). Este estudo não busca apenas obter dados laboratoriais, mas sim compreender as características do solo que influenciam diretamente sua permeabilidade, enriquecendo o conhecimento na área.

A relevância prática desta pesquisa é acentuada, especialmente em contextos urbanos, onde a contaminação do solo, muitas vezes associada à gestão inadequada de resíduos sólidos e carências no saneamento, impacta diretamente as águas subterrâneas. Ao contribuir para o avanço do conhecimento científico, este trabalho visa oferecer insights valiosos para a resolução de desafios reais e urgentes enfrentados pela sociedade contemporânea. Ao longo deste artigo, detalharemos os métodos experimentais empregados, apresentaremos os resultados obtidos e discutiremos as implicações práticas dessas descobertas. Espera-se que esta pesquisa não apenas enriqueça o corpo de conhecimento na área da hidrologia do solo e engenharia ambiental, mas também proporcione ferramentas valiosas para lidar com questões prementes relacionadas à permeabilidade do solo em ambientes diversos.

1. METODOLOGIA

O desenvolvimento do projeto teve início com uma fase dedicada à pesquisa e revisão bibliográfica. Referências como a Lei de Darcy e a norma NBR 14545 foram exploradas para estabelecer a base teórica necessária para a compreensão do conceito de permeabilidade e o funcionamento do permeâmetro de carga variável. Essa fase inicial permitiu a formulação de uma metodologia robusta, alinhada aos princípios fundamentais desses conceitos.

O permeâmetro de carga variável foi projetado com um cilindro de PVC de aproximadamente 150 mm de diâmetro e 450mm de altura, acoplado a duas tampas de mesmo diâmetro. O corpo de prova do solo foi cuidadosamente posicionado no centro do permeâmetro e revestido com parafina para evitar percolação radial de água. A montagem do protótipo seguiu um processo criterioso:

Inicialmente, a base foi preparada com uma tela metálica sobre a saída inferior, seguida pelo tubo de PVC.

Uma camada de areia, com aproximadamente 1 cm de altura, foi adicionada à base.

O corpo de prova deverá ser posicionado no centro do permeâmetro.

A bentonita hidratada foi cuidadosamente aplicada para vedar o espaço entre o corpo de prova e a parede do permeâmetro.

Uma camada adicional de areia deverá ser colocada no topo do corpo de prova, atuando como filtro e assegurando a distribuição uniforme da água.

A tampa superior será fixada para concluir a montagem.

A etapa seguinte envolveu a saturação do corpo de prova, conectando ao permeâmetro a um reservatório por meio de uma mangueira. Durante a saturação, a eliminação cuidadosa do ar no

interior do corpo de prova foi essencial. Uma vez concluída a saturação, o processo de percolação foi iniciado, medindo-se com precisão a quantidade de água que saía do permeâmetro por meio de uma proveta, enquanto cronometrava-se o tempo necessário para essa medição.

O ensaio de permeabilidade com carga variável foi conduzido, medindo-se o tempo necessário para uma diferença de altura no menisco de água dentro da bureta graduada. Cinco medidas diferentes foram realizadas, variando-se a diferença de altura da carga hidráulica e o tempo de percolação.

É fundamental destacar que o protótipo do permeâmetro foi fabricado com materiais acessíveis, como tubo de PVC, caps de PVC, parafina, areia grossa, bentonita, mangueira flexível cristal ½", amostra de solo, tela metálica, reservatório de água e bureta graduada de vidro.

Os procedimentos metodológicos foram fundamentados na Lei de Darcy, cuja relação matemática foi expressa considerando a constante de proporcionalidade, conhecida como coeficiente de permeabilidade (k), determinante na quantificação da permeabilidade do solo.

No ano de 1856, a partir de ensaios de filtros de areia Henry Darcy determinou os fatores que influenciavam a vazão de água em solos saturados, dando origem a Lei de Darcy. A lei de Darcy aponta que a vazão está diretamente relacionada à área da seção transversal do fluxo e à diferença de carga total entre a entrada e a saída, enquanto a vazão é inversamente proporcional ao comprimento da amostra na direção do fluxo. (Martínez Uribe, 2016.)

Ela pode ser expressa pela seguinte equação:

$$Q = -k \frac{\Delta h}{L} A \dots\dots\dots \text{Eq.1}$$

Onde:

- ✓ Q é a vazão de infiltração (m³/s);
- ✓ Δh é a diferença de carga total de entrada e saída (m);
- ✓ L é o comprimento da amostra (m);
- ✓ A é a área transversal da amostra (m²);
- ✓ k é a constante de proporcionalidade, conhecida como a condutividade hidráulica ou coeficiente de permeabilidade (m/s).

Lembrando que a lei de Darcy só será válida para solos de granulometria fina como argila e areias finas (Martínez Uribe, 2016).

2. RESULTADOS

A revisão meticulosa de conceitos cruciais, como a Lei de Darcy e a norma NBR 14545, desempenhou um papel instrumental na definição do plano de fabricação do permeâmetro de carga variável e na

delineação dos procedimentos experimentais. Este estudo prevê a execução do ensaio, com o intuito de calcular o coeficiente de permeabilidade, além de explorar outras possíveis aplicações das informações derivadas do experimento.

Fundamentando-se na Lei de Darcy, o ensaio presume uma relação proporcional entre as velocidades de fluxo e os gradientes hidráulicos. Aspectos cruciais incluem a necessidade de continuidade do escoamento, sem variações no volume do solo durante o ensaio, e a saturação total do corpo de prova, conforme preconizado pela NBR 14545 (2021).

O equipamento proposto consiste em um tubo de PVC, com aproximadamente 150 mm de diâmetro e 450 mm de altura, conectado a duas tampas também confeccionadas em PVC. A tampa superior incorpora um orifício projetado para permitir a entrada controlada de água durante a fase de saturação do corpo de prova. Este orifício é conectado a um reservatório de água por meio de uma mangueira. Simultaneamente, a tampa inferior possui um orifício central para a eficiente eliminação de ar durante as fases de saturação e percolação do experimento. O processo de montagem, simplificado, envolve a conexão do tubo de PVC às duas tampas.

A concepção simplificada do equipamento busca facilitar a compreensão dos procedimentos pelos alunos, mantendo, ao mesmo tempo, os custos em patamares acessíveis.

A Figura 1 apresenta o permeâmetro de carga variável completamente montado, destacando a simplicidade do design proposto. O tubo de PVC, com aproximadamente 150 mm de diâmetro e 450 mm de altura, é conectado a duas tampas também de PVC. A tampa superior é equipada com um orifício estrategicamente posicionado para a entrada de água durante a fase de saturação do corpo de prova. Uma mangueira conecta este orifício a um reservatório de água, enquanto a tampa inferior possui um orifício central para a saída de ar durante as fases de saturação e percolação do experimento. Esta configuração, além de ser didática para os alunos, busca manter os custos em níveis acessíveis.

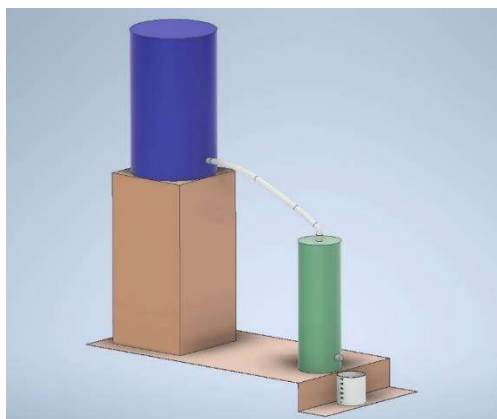


Figura 1 Equipamento montado, integrado ao sistema experimental(Fonte Autor ,2023)

A Figura 2.a oferece uma visão detalhada do permeâmetro de carga variável em pleno funcionamento. Durante o ensaio, a água flui pelo sistema, saturando o corpo de prova conforme as condições predefinidas. Essa representação visual enfatiza a aplicação prática dos princípios da Lei de Darcy e da norma NBR 14545 (2021) no contexto do experimento.

Na Figura 2.b, o permeâmetro de carga variável é apresentado desmontado, evidenciando a facilidade de inserção do corpo de prova. Este aspecto prático do equipamento simplifica as etapas

preparatórias do experimento, permitindo uma abordagem didática e eficiente para a realização dos ensaios.



Figura 2 A imagem A mostra o permeâmetro em operação, enquanto a imagem B exibe o mesmo desmontado para a inserção do corpo de prova. (Fonte Autor ,2023)

A Tabela 1 detalha os materiais essenciais empregados na construção do permeâmetro de carga variável, destacando a simplicidade e acessibilidade dos componentes escolhidos para garantir a viabilidade do projeto. Cada material desempenha um papel crucial na funcionalidade e montagem do equipamento, assegurando, ao mesmo tempo, a replicabilidade e a eficácia nos experimentos de permeabilidade do solo.

Material	Função
Tubo de PVC (Ø 150 mm, Altura 450 mm)	Estrutura principal do permeâmetro, proporcionando a câmara para o corpo de prova do solo.
Caps de PVC (Tampas)	Encerramento superior e inferior do tubo de PVC, facilitando a montagem e desmontagem do equipamento.
Mangueira flexível cristal ½'	Conecta o permeâmetro ao reservatório de água, permitindo a entrada controlada de água durante a saturação.
Parafina	Revestimento para evitar a percolação radial de água no corpo de prova do solo.
Areia grossa	Camada filtrante e distribuidora de água no topo e na base do corpo de prova.
Bentonita	Material de vedação, preenchendo o espaço entre o corpo de prova e a parede do permeâmetro.
Reservatório de água	Armazena a água necessária para a saturação do corpo de prova durante o experimento.
Tela metálica	Localizada sobre a saída inferior, auxilia na sustentação da areia e evita obstruções.
Bureta graduada de vidro	Utilizada na medição precisa da quantidade de água que flui durante o ensaio de permeabilidade com carga variável.

A montagem do equipamento seguiu uma sequência específica. Inicialmente, foi realizado um furo na parte central do cap de PVC, que funciona como a tampa superior do permeâmetro e pode ser visto na Figura 3.



Figura 3 - Cap de PVC que será usado como topo do permêametro, já com o furo para entrada de água. (Fonte Autor ,2023)

Esse furo destina-se à entrada da mangueira cristal, a qual será conectada ao reservatório de água. Em seguida, efetua-se um furo na parte lateral do cap de PVC, que servirá como a base do permeâmetro. Esse furo é projetado para o encaixe de uma torneira, desempenhando o papel de saída de água durante o processo de percolação do corpo de prova, assim como mostrado na Figura 4.

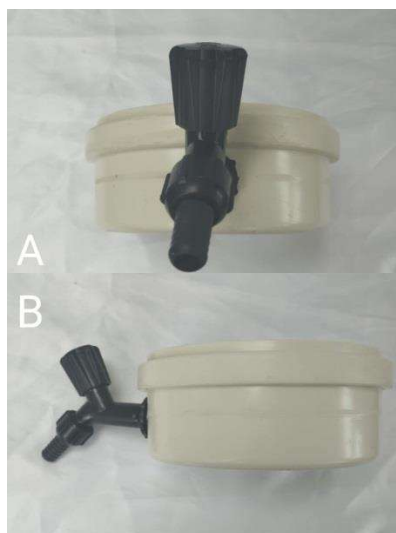


Figura 4 - A imagem A mostra a vista frontal da base do permeametro já equipada com a torneira, enquanto a imagem B exibe a vista lateral da mesma. (Fonte Autor ,2023)

Além disso, é feito um furo na parte lateral do tubo de PVC, proporcionando um local adequado para o encaixe da torneira. Posteriormente, realiza-se o encaixe do cap no tubo de PVC, completando assim o conjunto, que pode ser visto na Figura 5. Essa sequência de passos assegura a correta funcionalidade do equipamento, facilitando a entrada, saída e controle do fluxo de água durante o ensaio de permeabilidade.



Figura 5 – Permeâmetro de Carga Variável montado. (Fonte Autor ,2023)

3. CONCLUSÕES

A concepção e construção do permeâmetro de carga variável constituem uma contribuição significativa ao estudo da percolação em solos granulares. Enfatizando precisão e usabilidade, o projeto visa fortalecer a aplicação prática dos conceitos teóricos, integrando teoria e prática na disciplina de Mecânica dos Solos. A fase inicial proporcionou uma experiência enriquecedora aos alunos, enquanto a fabricação do permeâmetro eleva o padrão das aulas práticas e estabelece uma ferramenta valiosa para docentes. A expectativa de publicar o procedimento completo reflete o compromisso com a disseminação do conhecimento, contribuindo para avanços acadêmicos e práticos na engenharia geotécnica. O permeâmetro representa não apenas uma ferramenta de pesquisa, mas também um instrumento prático na prevenção de riscos e promoção da segurança na construção, destacando-se como um avanço significativo na compreensão da dinâmica solo-água.

4. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado através da concessão de bolsa de iniciação científica pela Universidade Iguaçu mediante Edital 2023-2024 do Programa de Iniciação Científica. E, com o apoio da Coordenação do Curso de Engenharia Civil e da Coordenação do Curso de Engenharia Mecânica que cedeu espaço no laboratório Multidisciplinar 3 para fabricação e montagem do equipamento.

5 REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13292: Solo – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14545: Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos à carga variável. Rio de Janeiro.
- ALONSO, U. R. Rebaixamento temporário de aquíferos São Paulo: TECNOGEO/GEOFIX,1999. 131 p
- CAPUTO, HP. Mecânica dos solos e suas aplicações. 6ª edição. Rio de Janeiro. LTC Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 1998.
- DURGIEWICZ, R.C.; MATTOS, V.A.T - Desenvolvimento de um instrumento digital microcontrolado para obtenção do coeficiente de permeabilidade de solos – Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Curitiba 2016.
- FERREIRA, M.F.F. - Hidráulica dos solos: montagem de um aparato para simulação de redes de fluxo e montagem de permeâmetro de carga constante – Alegrete 2014

JOANNIC, A.M.C; LEGUENNEC, G.G.B.; KNOP, A.; RECH, C.; BARBOSA, E.; SKOREK, F.; LOPEZ, E. (2012). *Estudio Experimental de la Permeabilidad de Materiales Depositados em Pilas de Lixiviación*. Universidad de Chile. pp.150.

MARTÍNEZ, G.S.S. - *Estudo do comportamento mecânico de solos lateríticos da formação barreiras* - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL – Porto Alegre 2003

MARTÍNEZ URIBE, C;. *Projeto e construção de um permeâmetro de parede flexível e carga constante*. 2016. xix, 114 f., il. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade de Brasília, Brasília 2016

ROMEIRO DHL, FREIRE AC, MELO SBF, ROCHA JMMS, ALMEIDA LM. *Entendo a permeabilidade dos solos: Uma experiência didática com materiais recicláveis*. Paraíba. III CONEDU, 2016.

SIVIEIRO, P.R. - *Análise da variação de compressibilidade e permeabilidade de rejeito de mineração bauxita* – Joinville 2019

VENTURINI, S.F.; QUADROS, D.S. - *Sistema de medição digital de permeabilidade de solos* - CIPPUS (ISSN2238-9032) Canoas, v. 7, n. 1, 2019