

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

Desafios no Desenvolvimento de um Permeâmetro para Fins Didáticos Explorando a Cultura *Maker*

José Paulo Rocha Soares

Graduação em Engenharia Civil, Sobral, Brasil, josepaulo.rsoares@gmail.com

Renato Mascarenhas Portela

Graduação em Engenharia Civil, Sobral, Brasil, mascarenhasportela@gmail.com

Vanda Tereza Costa Malveira

Professora Adjunta da UVA, filiada à ABMS e CBDB, Fortaleza, Brasil, vanda_tereza@uvanet.com

RESUMO: Os reservatórios, ou açudes, são de grande demanda na região do semiárido nordestino do Brasil, sendo constituídos muitas vezes por estruturas sujeitas à erosão interna. Os ensaios laboratoriais de permeabilidade dos solos podem fornecer parte dos dados fundamentais para a análise dos problemas erosivos. Remetendo-se ao contexto educacional, a aplicação prática de um conhecimento teórico pode ser considerado um ótimo método de ampliação do aprendizado. Desse modo, direcionando-se às atividades realizadas em laboratório, foi desenvolvido um permeâmetro à carga constante objetivado a apresentar uma alternativa com equipamentos de baixo custo tendo. Além disso, busca-se apresentar uma ferramenta didática para o ensino de mecânica dos solos. Desenvolveu-se este projeto baseado nos princípios da mecânica dos solos e da cultura maker, em atividades do tipo “faça você mesmo”. O projeto foi iniciado com estudos preliminares dos modelos mais elementares para, em seguida, analisar modelos mais complexos, com referências normativas, e produções realizadas por outros pesquisadores. Na elaboração do projeto buscou-se utilizar materiais recicláveis, reutilizáveis ou de custo acessível, como madeira, pequenas barras de aço, tubos e conexões em PVC e Acrílico. Observou-se, também, que com algumas trocas de peças, pode-se adaptar o permeâmetro para ensaios à carga variável.

PALAVRAS-CHAVE: Cultura Maker, Ensaios Laboratoriais, Permeabilidade, Permeâmetro, Viabilidade de Custo.

ABSTRACT: Reservoirs, or dams, are in great demand in the semi-arid region of northeastern Brazil, often consisting of structures subject to internal erosion. Laboratory tests of soil permeability can provide part of the fundamental data for the analysis of erosion problems. Referring to the educational context, the practical application of theoretical knowledge can be considered an excellent method of expanding learning. Thus, addressing the activities carried out in the laboratory, a permeameter to the constant head was developed in order to present an alternative with low-cost equipment. In addition, it seeks to present a didactic tool for teaching soil mechanics. This project was developed based on the principles of soil mechanics and maker culture, in “do it yourself” activities. The project started with preliminary studies of the most elementary models to then analyze more complex models, with normative references, and productions carried out by other researchers. In preparing the project, we sought to use recyclable, reusable or affordable materials, such as wood, small steel bars, PVC and Acrylic tubes and connections. It was also observed that with some exchanges of parts, the permeameter can be adapted for tests to variable head.

KEYWORDS: Maker Culture, Laboratory Tests, Permeability, Permeameter, Cost Feasibility.



1 Introdução

Estruturas hidráulicas, como os reservatórios ou açudes, apresentam como tipo mais comum e econômico as barragens de terra, porém com grande vulnerabilidade a problemas de erosão interna, uma das principais causas de falhas nesses tipos de barragens (AL-JANABI et al., 2020). A análise da condutividade hidráulica saturada dos solos, além de ser um parâmetro essencial em projetos de geoestruturas, é também um parâmetro chave para os problemas relacionados à segurança das barragens (SADEGHI; ALIPANAHI, 2020).

A condutividade hidráulica dos solos pode ser determinada em laboratório por meio de dois tipos de testes, o ensaio à carga constante e o ensaio à carga variável (DAS; SOBHAN, 2014). No Brasil, o ensaio à carga constante é regulamentado pela Norma Brasileira (NBR) NBR 13292:2015, atualizada em fevereiro de 2021, e o ensaio à carga variável é regulamentado pela NBR 14545:2000. Os equipamentos utilizados nesses ensaios são por vezes onerosos, podendo ser produzidos por instituições de ensino e pesquisa, como as universidades, principalmente quando não se dispõe de capital financeiro suficiente para a aquisição desses equipamentos, fomentando projetos de desenvolvimento científico e tecnológico.

A troca de experiências entre projetos semelhantes desenvolvidos em diferentes localidades teve ótimo progresso devido ao advento das tecnologias digitais e da informação, o que auxiliou a produção ou invenção de itens, correções de problemas e melhorias em processos já existentes, resultando no que hoje é conhecido como “Movimento Maker” (GAVASSA et al., 2016). O conceito desse movimento, também chamado de Cultura Maker, baseia-se na formação de grupos de pessoas, ligadas às diferentes áreas do conhecimento, com a finalidade de promover projetos em diversas especialidades (MONFREDINI; FROSCHE, 2019). Conforme uma revisão sistemática da produção literária da Cultura Maker realizada por Paula, Oliveira e Martins (2019), não se encontra ampla referência à adoção de ferramentas oriundas de materiais recicláveis nessa metodologia, o que poderia fomentar a abordagem de temas ligados à sustentabilidade, gerando uma consciência ecológica.

Desse modo, o desenvolvimento ou a reprodução de equipamentos laboratoriais, como os direcionados a ensaios de permeabilidade, pode constituir uma alternativa economicamente viável para as instituições de ensino. Além disso, reproduzir tais equipamentos pode auxiliar no processo de aprendizado dos responsáveis pelo projeto, tanto na parte conceitual do mecanismo que envolve o ensaio até a busca por solução de problemas. Portanto, objetiva-se apresentar neste trabalho uma alternativa financeiramente viável para a realização de ensaios de permeabilidade dos solos à carga constante, utilizando-se de equipamentos com origem reciclável, reutilizável ou de baixo custo, atendendo ao máximo de rigor possível que exigem as normas de realização desse ensaio, de modo que os resultados obtidos estejam coerentes com a realidade. Busca-se, também, ampliar os equipamentos disponíveis para realização de ensaios laboratoriais no laboratório de solos LabSolos, servindo de material didático no ensino dos conceitos de permeabilidade para a turma de Mecânica dos Solos I, do curso de Engenharia Civil, da Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA).

2 Metodologia

Nesse capítulo, demonstram-se os modelos de permeâmetros estudados para a aplicação neste trabalho, para em seguida apresentar a conceituação do modelo estabelecido.

2.1 Revisão bibliográfica de modelos de permeâmetros elementares e complexos

Inicialmente, buscou-se estudar os conceitos que definem a permeabilidade da água nos solos, como surgiu a ideia do ensaio de permeabilidade e a sua função. Em seguida, analisou-se o modelo de permeâmetro apresentado na Norma Brasileira (NBR) que regulamenta o método de ensaio de permeabilidade dos solos à carga constante, a NBR 13292:1995, atualizada em fevereiro de 2021. Também foram analisadas publicações desenvolvidas por outros pesquisadores.

O ensaio à carga constante tem base no experimento de Darcy, objetivado a verificar como os diversos fatores geométricos do solo influenciam a vazão da água (PINTO, 2006). Pode-se observar um esquema típico do permeâmetro de carga constante por meio da Figura 1.

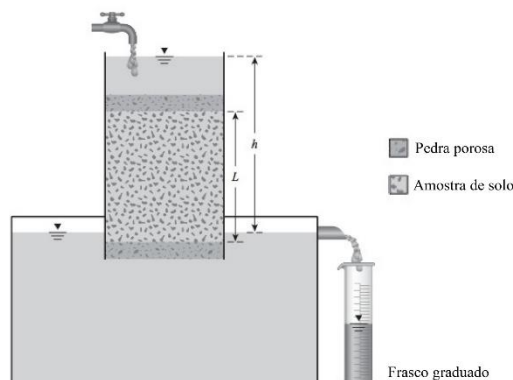


Figura 1. Modelo simplificado de permeâmetro de carga constante. Fonte: Das; Sobhan (2014).

O modelo apresentado na Figura 1 assemelha-se a um desenvolvimento de Diminescu, Dumitran e Vuta (2019), do qual intitularam de “Permeâmetro Simplificado”. Os autores também utilizaram em sua pesquisa outros quatro permeâmetros diferentes entre variações de ensaios à carga constante e à carga variável. Os autores concluem que o permeâmetro mais preciso trata-se do permeâmetro de carga constante conectado a tubos piezométricos, modelo padrão da NBR 13292:1995. Um outro estudo, de Gibson et al. (2017), apresenta permeâmetros comerciais de carga constante e de carga variável, além de outros dois permeâmetros produzidos com tubos e conexões em PVC. Demonstrou-se que todos os quatro modelos obtiveram dados semelhantes, indicando não haver necessidade de aquisição de equipamentos onerosos para obtenção de bons resultados.

Há dois tipos de permeâmetros apresentados na NBR 13292:1995, conforme ilustrados na Figura 2. A NBR 13292:1995 cita como material do cilindro do permeâmetro metal ou plástico transparente, indicando a não obrigatoriedade de o permeâmetro ser constituído apenas de metal. Rondón, Peña e Ortiz (2020) apresentam um trabalho no qual projetam um permeâmetro com a utilização de PVC e plástico, para ensaios à carga constante e à carga variável. Outro modelo semelhante ao apresentado na NBR 13292:1995 é projetado por Oliveira et al. (2018), utilizando tubos de PVC com diâmetro de 100 mm.

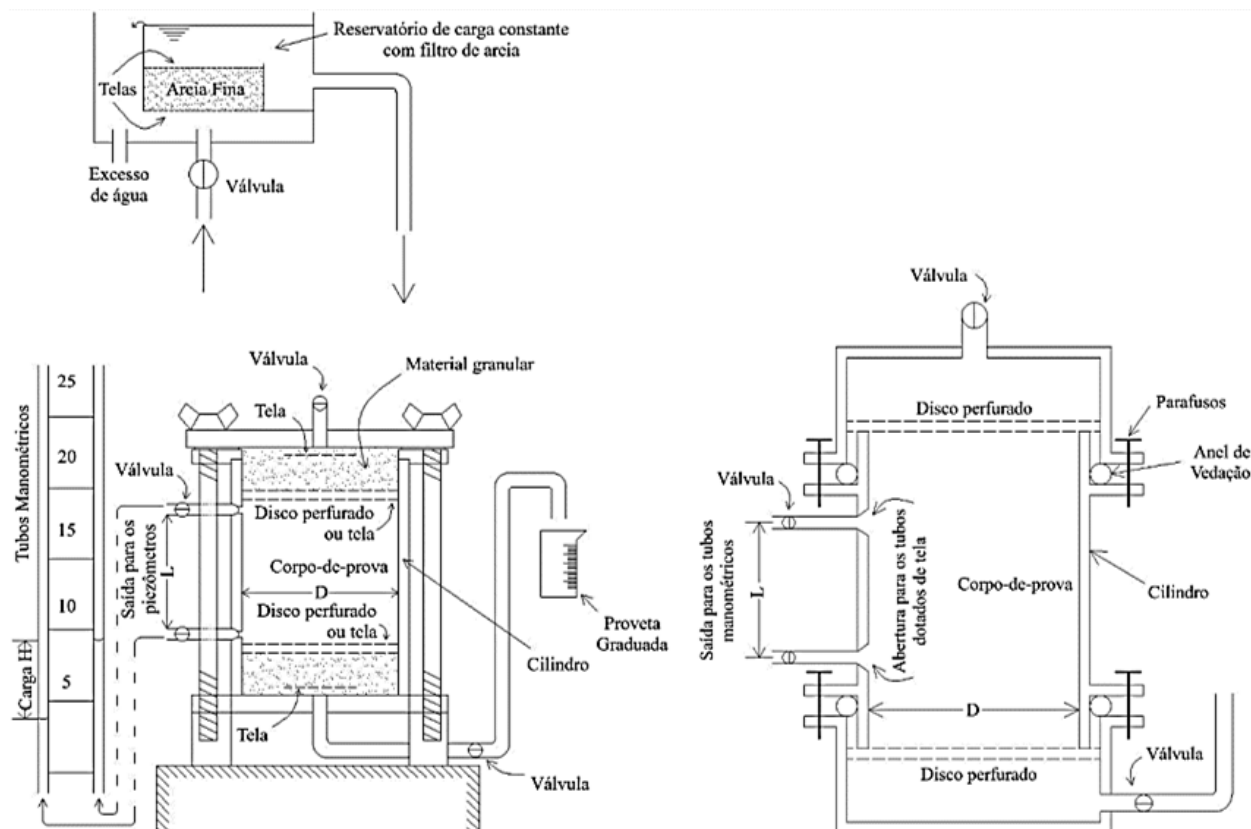


Figura 2. Permeâmetro Tipo I, à esquerda, e Tipo II, à direita da NBR 13292:1995. Fonte: ABNT (1995).



2.2 Observações realizadas sobre o modelo concebido

Neste projeto, o modelo estabelecido é constituído de um reservatório para abastecer o permeâmetro a uma carga constante, o permeâmetro em si, além de suportes para acoplamento do reservatório, do permeâmetro e dos piezômetros. Os materiais prioritários no desenvolvimento dos equipamentos tiveram origem reciclável, reutilizável, ou de custo acessível. Um aspecto de grande relevância deu-se pela devida organização dos equipamentos no laboratório, de modo que sua localização não prejudicasse o espaço laboratorial, dificultando a realização de outras atividades ou o acesso a outros locais, assim como viabilizasse a realização do ensaio por qualquer operador.

Quanto ao reservatório, definiu-se como modelo o apresentado na NBR 13292:1995, demonstrado na Figura 2. No local do material granular adotaram-se pedras porosas. A constituição do reservatório deu-se por tubos de PVC, com uma saída lateral para o abastecimento do permeâmetro e outra, mais acima, para descarregar o excesso de água no reservatório. A NBR 13292:1995 prevê repetições do ensaio com o aumento gradual da altura do reservatório. Assim, projetou-se um suporte para o reservatório com peças de madeira de modo a possibilitar a elevação de 0,50 cm do reservatório para cada repetição do ensaio.

Quanto ao permeâmetro em si, sua seção longitudinal constitui um esboço semelhante ao apresentado no permeâmetro Tipo II descrito na NBR 13292:1995, conforme demonstrado na Figura 2. Definiu-se acrílico como material do permeâmetro, de modo a possibilitar a visualização da água percolando pela amostra de solo no decorrer do ensaio. Tal situação foi assim definida, também, pelo fato de se desejar atribuir ao permeâmetro uma função didática.

3 Resultados e Discussões

Os resultados deste projeto compreendem os materiais e detalhamentos concebidos. Devido ao repentino surgimento da pandemia de COVID-19, a fase de testagem dos equipamentos ainda não pôde ser concluída, podendo assim fazer com que os equipamentos passem por revisões.

3.1 Visão geral e localização dos equipamentos

O posicionamento dos equipamentos no laboratório ocorreu de modo que não houvesse impedimento para qualquer operador os utilizar. Tal organização é demonstrada na Figura 3.

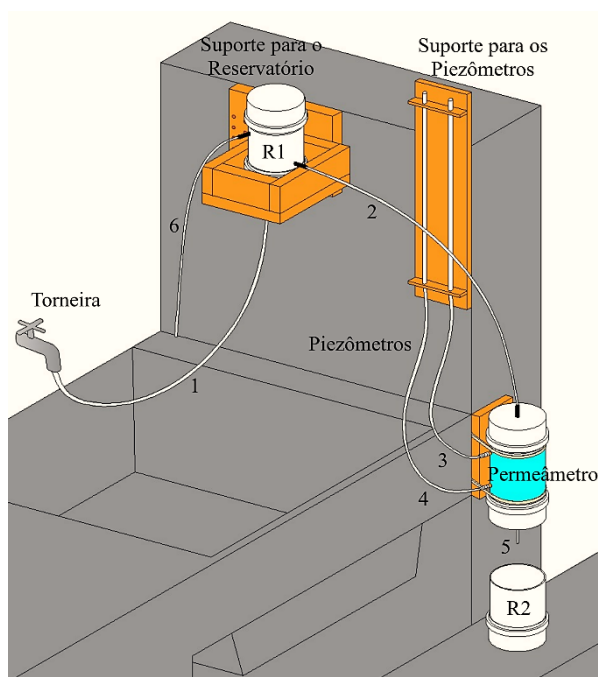


Figura 3. Organização e localização dos equipamentos no laboratório de solos. Fonte: Autores (2021).



A localização dos equipamentos define uma posição fixa, próximo a uma pia, dada a constante utilização de água no decorrer do ensaio. O posicionamento dos equipamentos, também, é feito de tal modo que seja acessível para qualquer pessoa realizar o ensaio, não havendo impedimentos devido a bloqueios ou à altura dos equipamentos. O tubo 1 conduz a água da torneira para o reservatório (R1) em um fluxo ascendente que, por sua vez, responsabiliza-se por abastecer o permeâmetro a uma carga constante, conduzindo a água pelo tubo 2. A pedra porosa dentro do reservatório tem o objetivo de impedir a passagem de alguma partícula granular que porventura percorra o fluxo da água. O tubo 6 responsabiliza-se por eliminar o excesso de água do reservatório (R1). Na parte superior do permeâmetro é conectado o tubo 2, que conduz a água que percolará pela amostra de solo, sendo abaixo dele conectado o tubo 5, responsável por conduzir a água percolada para um recipiente (R2). Esse recipiente (R2) recebe o volume de água percolado pela amostra para as medições do ensaio. Na parte lateral do permeâmetro localizam-se os tubos 3 e 4, representando os piezômetros, para medição da carga hidráulica entre dois pontos distintos na amostra, com espaçamento previamente definido.

3.2 Detalhamento do reservatório e dos suportes

A NBR 13292:1995 requer que o ensaio seja repetido para diferentes cargas hidráulicas, de 0,50 cm em 0,50 cm, de modo a bem representar a região de fluxo laminar. Observa-se o equipamento projetado para esse processo por meio da Figura 4.

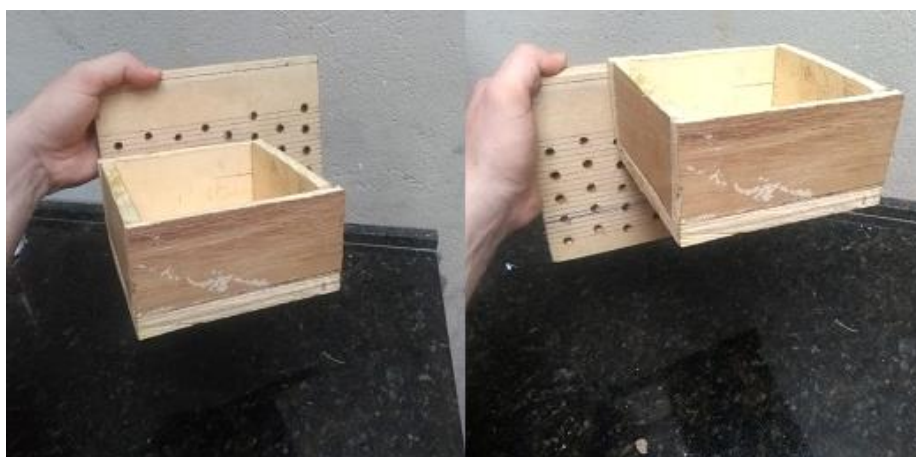


Figura 4. Caixote do reservatório pra ensaio à carga constante. Fonte: Autores (2021)

Na Figura 4 observa-se um suporte em formato retangular com furos, responsável por receber um caixote do qual será acoplado o reservatório (R1). Os furos são espaçados em 0,50 cm no sentido vertical, conforme estabelecido na NBR 13292:1995. O espaçamento no sentido horizontal corresponde a 5,00 cm, referente ao espaçamento das barras de aço fixadas no caixote, que por sua vez responsabilizam-se por acoplar tal caixote no suporte retangular. As barras presentes no caixote são retiradas de sobras de treliças utilizadas em lajes pré-moldadas, com diâmetro igual a 6,3 mm. A Figura 4 apresenta, também, como se dá o posicionamento do caixote em diferentes elevações.

O reservatório responsável pelo abastecimento de água no permeâmetro a uma carga constante segue o modelo previsto na NBR 13292:1995, constituindo uma região de abastecimento, num fluxo ascendente, passando por um material permeável de modo a filtrar possíveis partículas aeradas que porventura possam estar no fluxo da água, uma saída de água para o abastecimento do permeâmetro e outra saída, mais acima, para o descarregamento do excesso de água no reservatório. O reservatório contintui-se de PVC, com diâmetro de 100 mm, fechado por CAP's também de PVC e diâmetro de 100 mm.

A escolha de localização do reservatório, conforme demonstrada na Figura 4, deu-se de modo a se posicionar próximo a uma pia, facilitando os processos de abastecimento do reservatório, assim como descarregamento do excesso de água, mantendo os comprimentos dos tubos responsáveis por esse fluxo de água os menores possíveis, facilitando o processo e barateando seu custo.



3.3 Detalhamento do permeâmetro propriamente dito

Maior atenção e detalhamento foi requerido na definição do permeâmetro em si, devido às exigências que decorrem do funcionamento do ensaio e dos objetivos didáticos objetivados ao equipamento. O material escolhido para o permeâmetro, originalmente, teria composição de PVC. Para visualização ideal do processo de permeabilidade da água na amostra de solo, no decorrer do ensaio, escolheu-se como material do cilindro do permeâmetro acrílico, dado que se trata de um material recorrente em estudos de análise de permeabilidade, assim como material previsto na NBR 13292:1995, não acarretando problemas aos processos do ensaio. Podese observar um esquema do modelo estabelecido para este projeto por meio da Figura 5.

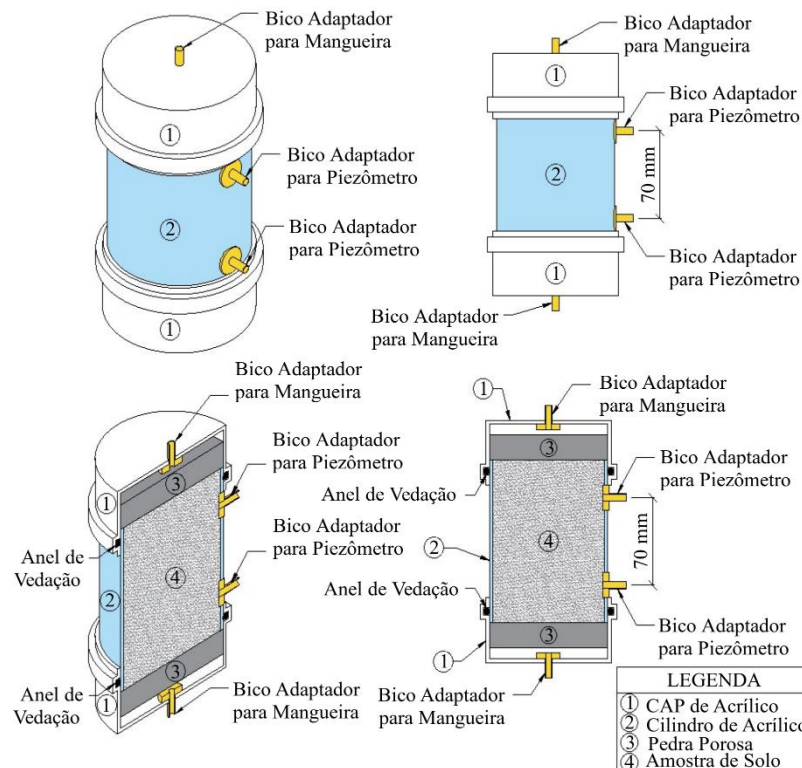


Figura 5. Modelo esquemático do permeâmetro propriamente dito. Fonte: Autores (2021)

Há dois bicos adaptadores de mangueiras inseridos nos CAP's, responsáveis pelo fluxo de água que entra no permeâmetro, percola pela amostra, e sai para as medições do ensaio. Outros dois bicos são alocados na parede lateral do cilindro do permeâmetro, a fim de receberem tubos que se responsabilizarão pela medição da carga hidráulica no solo. A NBR 13292:1995 prevê a utilização de filtros de papel entre o material filtrante e a amostra de solo, a fim de evitar que alguma partícula da amostra de solo seja carregada para os tubos.

Em um trabalho semelhante, Oliveira et al. (2018) descrevem observações estruturais do modelo concebido por eles em seu projeto, citando gotejamentos nas junções do equipamento e uma certa pressão gerada pelo fluxo da água no permeâmetro, ocasionando o levantamento do CAP superior que fecha o cilindro do permeâmetro. Tais observações foram levadas em consideração neste projeto, de modo a evitar problemas de vazamentos no equipamento, como a adoção dos anéis de vedação.

Importante declarar que a NBR 13292:1995 é voltada para a análise de permeabilidade de solos granulares, sendo aqueles solos no qual no máximo 10% de sua massa conseguem passar pela peneira #200, de abertura 0,075 mm, conforme especificações do ensaio de análise granulométrica. Para os solos que obtêm uma porcentagem maior que 10% de grãos que passam pela peneira #200 o ensaio é realizado em outro tipo de permeâmetro, denominado de permeâmetro de carga variável. A NBR 14545:2000 descreve os processos de realização do ensaio de permeabilidade à carga variável, direcionado a solos argilosos. Em uma breve análise da NBR 14545:2000, verificou-se que a simples troca de algumas peças no permeâmetro concebido para este projeto podem tornar acessível a realização do ensaio à carga variável. O modelo estabelecido pode ser observado por meio da Figura 6.

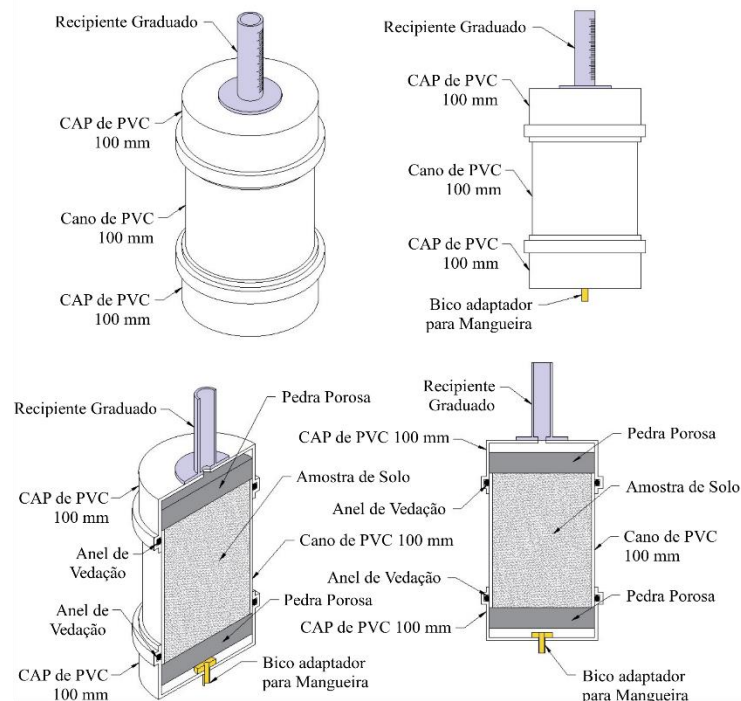


Figura 6. Modelo esquemático idealizado para o permeâmetro à carga variável. Fonte: Autores (2021)

A troca de peças refere-se ao CAP superior, onde instala-se um cilindro graduado, como uma bureta, capaz de registrar a velocidade do movimento da água conforme ocorre a percolação. O ensaio não exige os piezômetros, dado que a leitura ocorre no cilindro (bureta) acima do CAP. Da mesma forma, o reservatório de abastecimento do permeâmetro também não se faz necessário, dado o fato do carregamento ser variável, onde a quantidade de água que percolará pelo solo está limitada ao volume do cilindro acima do CAP (bureta).

Devido à pandemia de COVID-19, não foi possível realizar a completa montagem e testagem dos equipamentos, podendo necessitar de alguma revisão nos processos, caso ocorra algum erro na realização dos ensaios ou resultados incoerentes com a realidade. O laboratório LabSolos dispõe de solos para análise que vão desde areias mal graduadas até areias argilosas. Demais ensaios de análise granulométrica e limites de Atterberg também são possíveis de realizar no laboratório, podendo-se comparar os resultados obtidos no ensaio de permeabilidade à estimativas analíticas, como a equação de Kozeny-Carman, que oferece resultados bastante satisfatórios na estimativa da condutividade hidráulica de solos arenosos (DAS; SOBHAN, 2014).

4 Conclusões

A realização deste projeto pode oferecer um equipamento laboratorial acessível para instituições de ensino, como as universidades, que convivem com sérias restrições financeiras. Além disso, pode-se fornecer um aprendizado mais atrativo aos alunos que poderão fazer uso dos equipamentos em aulas práticas de Mecânica dos Solos ou mesmo em atividades de pesquisa e/ou extensão.

Este equipamento, produzido com influência da metodologia da Cultura Maker, demonstrou que, mesmo não dispondo de um espaço fabril com ferramentas e materiais sofisticados, foi possível realizar um projeto que tem condições de obter resultados tão bons quanto os modelos comerciais, por vezes inacessíveis financeiramente para muitas universidades. Essa metodologia permitiu aos envolvidos no projeto aprofundar seus conhecimentos sobre os mecanismos da permeabilidade da água nos solos, assim como os conhecimentos técnicos de realização de ensaios laboratoriais.

Não houve dificuldades na aquisição dos materiais e das ferramentas utilizadas na fabricação dos equipamentos. Esse fato foi evidenciado pela relativa facilidade de coleta desses materiais, geralmente encontrados em restos de materiais de construção. Outra facilidade foi observada no custo acessível de alguns equipamentos, facilmente encontrados em lojas de construção civil. Destaca-se apenas o cilindro de acrílico do permeâmetro como material com menor facilidade de aquisição, dadas as especificações nas dimensões das quais ele deve ser produzido.



Quanto aos resultados dos ensaios em si, destaca-se novamente que ainda deve ser realizada a completa montagem e teste dos equipamentos, atividade ainda não realizada devido ao repentino surgimento da pandemia de COVID-19. Entretanto, a análise dos equipamentos apresentados nas normas regulamentadoras, somado aos relatos de experiência apresentados em outros projetos, como os citados nas referências bibliográficas, demonstram uma boa adequação do modelo estabelecido. Tal adequação também levou em consideração observações nos trabalhos de outros autores quanto a problemas por eles observados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Janabi, A. M. S.; Ghazali, A. H.; Ghazaw, Y. M.; Afan, A. H.; Al-Ansari, N.; Yaseen, Z. M. (2020) Experimental and Numerical Analysis for Earth-Fill Dam Seepage. *Sustainability*, 12 (6), p. 1-14. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/su12062490>>. Acesso em: 14 dez. 2021.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1995). NBR 13292:1995: *Solo – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2000). NBR 14545:2000: *Solo – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável*. Rio de Janeiro.
- Das, B. M.; Sobhan, K. (2014) *Fundamentos de Engenharia Geotécnica*, 8 ed., Cengage Learning, São Paulo, SP, Brasil, 612 p.
- Diminescu, M. A.; Dumitran, G. E.; Vuta, L. I. (2019) Experimental methods to determine the hydraulic conductivity. *E3S Web of Conferences*, 85, p. 1-7. Disponível em: <<https://doi.org/10.1051/e3sconf/20198506010>>. Acesso em: 06 jun. 2021.
- Gavassa, R. C. F. B.; Munhoz, G. B.; Mello, L. F.; Carolei, P. (2016) Cultura Maker, Aprendizagem Investigativa por Desafios e Resolução de Problemas na SME-SP (Brasil). In: Conferência Fablearn Brasil, 1, São Paulo. *Anais eletrônicos...* Disponível em: <bit.ly/3ig0Ffg>. Acesso em: 16 fev. 2021.
- Gibson, C.; Woodall, N.; Reiter, C.; Stonedahl, S. H. (2017) Designing and Evaluating the Quality and Costeffectiveness of Saturated Sediment Permeameters. *International Journal of Undergraduate Research and Creative Activities*, 9 (4), p. 1-12. Disponível em: <<http://doi.org/10.7710/2168-0620.1093>>. Acesso em: 05 jun. 2021.
- Oliveira, A. F.; Oliveira, M. H.; Queiroz, G. R.; Vieira, J. A. L.; Mendes, C. J. (2018) Permeâmetro de Carga Constante Construído em Tubos de PVC. *Revista Eletrônica Organizações e Sociedade*, 7 (8), p. 14- 29. Disponível em: <<https://doi.org/10.29031/ros.v7i8.389>>. Acesso em: 04 jun. 2021.
- Paula, B. B.; Oliveira, T.; Martins, C. B. (2019) Análise do Uso da Cultura Maker em Contextos Educacionais: Revisão Sistemática da Literatura. *Revista Renote Novas Tecnologias na Educação*, 17 (3), p. 447- 457. Disponível em: <<https://doi.org/10.22456/1679-1916.99528>>. Acesso em: 16 fev. 2021.
- Pinto, C. S. (2006) *Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas*, 3 ed., Oficina de Textos, São Paulo, SP, Brasil, 367 p.
- Rondón, S. L.; Peña, M.; Ortiz, D. F. (2020) Diseño de um protótipo para medir la conductividad hidráulica en los suelos. *Revista Siembra CBA*, 2, p. 79-90. Disponível em: <<http://revistas.sena.edu.co/index.php/Revsiembracba/article/view/3621>>. Acesso em: 07 jun. 2021.
- Sadeghi, H.; Alipanahi, P. (2020) Saturated hydraulic conductivity of problematic soils measured by a newly developed low-compliance triaxial permeameter. *Engineering Geology*, 278, p. 1-13. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2020.105827>>. Acesso em: 04 jun. 2020.