

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

Montagem e Teste Laboratorial de Coluna para Ensaio de Transporte Contaminantes em Solos

Thainá Faria Oliveira

Mestranda, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil, thaina.oliveira@engenharia.ufjf.br

Cátia de Paula Martins

Professora, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, Brasil, catia.martins@ufjf.edu.br

Júlia Righi de Almeida

Professora, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, Brasil, julia.righi@engenharia.ufjf.br

Raquel Rodrigues Bernardes

Engenheira civil, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, raquel.rodrigues@engenharia.ufjf.br

RESUMO: O ensaio em coluna é de extrema importância para o estudo de diversos fenômenos que podem ocorrer no solo durante o processo de percolação de fluidos, entretanto não se encontra com facilidade metodologias específicas para a construção de um instrumento que permita a execução desse tipo de ensaio. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo apresentar um sistema de instruções detalhado e eficaz para a construção de um aparato experimental que permita, através do ensaio em coluna, a avaliação do transporte de um contaminante no solo. O processo de execução foi composto pelas seguintes etapas: concepção do projeto, seleção e compra dos materiais mais adequados, corte e polimento das peças e por fim, a montagem e teste da coluna. Todo esse procedimento foi baseado em pesquisas preliminares sobre a execução do ensaio em coluna, a reação de contaminantes com os mais variados materiais e o transporte de contaminantes de solo, que permitiram escolher a melhor forma de se construir o equipamento destinado a avaliar a percolação de contaminantes no solo.

PALAVRAS-CHAVE: Montagem de Ensaio em coluna, transporte de contaminante, solos, lixiviado.

ABSTRACT: The column test is extremely important for the study of several phenomena that can occur in the soil during the process of percolation of fluids, however specific methodologies for the construction of an instrument that allows the execution of this type of test are not easily found. In this context, the present work aims to present a detailed and effective instruction system for the construction of an experimental apparatus that allows, through the column test, the evaluation of the transport of a contaminant in the soil. The execution process consisted of the following steps: design of the project, selection and purchase of the most suitable materials, cutting and polishing of the parts and finally, the assembly and testing of the column. This whole procedure was based on preliminary research on the execution of the column test, the reaction of contaminants with the most varied materials and the transport of soil contaminants, which allowed to choose the best way to build the equipment intended to evaluate the percolation of contaminants in the soil.

KEYWORDS: Column Test Assembly, Contaminant Transport, Soil, Leachate.



1 Introdução

A contaminação do solo pode ocorrer de diversas formas e levar a diferentes resultados, certamente prejudiciais. É importante estudar o transporte de poluentes nos materiais geológicos de modo que seja possível verificar o nível de interferência em suas características, o risco de contaminação do lençol freático e, através da análise desses comportamentos, sugerir soluções e alternativas de remediação. Várias são as formas de se analisar o transporte de contaminantes no solo, através de ensaios em campo ou laboratoriais. Algumas delas requerem muitos recursos monetários, alocação de espaço e mão de obra especializada, tornando-se muitas vezes inviável a execução dessas pesquisas. Uma das formas mais conhecidas e usadas para análises dessa categoria é o ensaio em coluna, que foi escolhido para realização desse estudo devido a sua simplicidade, custo-benefício, exequibilidade e eficácia na obtenção de parâmetros necessários para a realização de estudos relacionados ao tema.

Desta forma, a atual pesquisa tem por finalidade a construção de um equipamento viável, eficiente e apropriado para analisar o transporte de lixiviado através de solo, possibilitando a caracterização dos materiais envolvidos antes e depois da percolação. Ademais pretende-se estruturar uma metodologia capaz de auxiliar outras pesquisas que necessitem de instruções e subsídios para a construção de um dispositivo semelhante a este, visto que na literatura existem poucos trabalhos que tratem do tema detalhadamente, tomando como exemplo Martins (2015), Bergmann (2016), Demuelenaere (2004) e Teixeira (2011).

2 Metodologia

2.1 Pesquisa Bibliográfica

A primeira parte deste estudo consistiu na análise de artigos, teses e dissertações, que abordam temas relacionados à percolação de fluidos no solo, utilizando em sua metodologia o ensaio em coluna. A partir dessa análise foram retiradas informações necessárias e relevantes para a construção do aparato técnico objetivado, a saber: materiais utilizados, dimensões, finalidade da pesquisa e imagens representativas dos equipamentos operados. De posse dessas informações foi possível conceber o projeto.

2.2 Concepção do Projeto

Inicialmente determinou-se que seriam confeccionadas quatro colunas de percolação, de dimensões definidas, alimentadas por um frasco de Mariotte com capacidade de 5 (cinco) litros e ligadas, cada uma, a um frasco coletor. Essas determinações foram definidas com base nas pesquisas anteriormente mencionadas de Martins (2010, 2015), Bergmann (2016), Demuelenaere (2004) e Teixeira (2011) e as demandas do Laboratório de Mecânica dos Solos II da UFJF, onde serão realizadas pesquisas e ensaios futuros. A seguir foi elaborado um esquema representativo de modo a comportar tais colunas no espaço disponível, conforme demonstrado na Figura 1.

Cada coluna é composta por uma base, uma tampa, um corpo cilíndrico, hastes de metal e mangueiras para a condução do contaminante entre o frasco de Mariotte, as colunas e os frascos coletores, nos quais será recolhido o material para análise.



2.2.3 Corpo cilíndrico

Fundamentado na pesquisa bibliográfica realizada, foram tomadas proporções semelhantes às apresentadas por Bergmann (2016) e Demuelenaere (2004), por utilizarem em seus estudos equipamento semelhante ao pretendido por essa pesquisa, com as seguintes dimensões do corpo cilíndrico: diâmetro interno - 5,69 cm, altura - 11 cm e diâmetro interno - 10cm, altura - 10 cm, respectivamente.

A vista disso foram adotadas as dimensões de 10 cm de diâmetro interno e 15 cm de altura, levando em conta inclusive a possibilidade de cravação desta peça no cilindro de compactação disponível no Laboratório de Solos II da UFJF, com a finalidade de inserir a amostra compactada no corpo de acrílico para proceder com os ensaios desejados.

2.3 Seleção de Materiais

A seleção dos materiais foi baseada nas pesquisas realizadas, considerando alguns critérios relevantes para os ensaios previstos. Um desses critérios é a reatividade do material, uma vez que se deseja evitar a interação do mesmo com o percolado, a fim de se obter resultados realistas, não influenciados pelo material do equipamento utilizado. Foi considerado também a resistência dos materiais, observando-se a possibilidade de cravação da coluna para obtenção de amostra indeformada, além do interesse na durabilidade do equipamento.

O custo e disponibilidade no mercado são fatores significativos e também foram avaliados. Previamente realizou-se uma pesquisa a fim de levantar os preços de cada material e a relação de seu custo benefício. De acordo com o objetivo de sua aplicação, selecionou-se as características imprescindíveis que cada componente (tampa, corpo cilíndrico e base) deveria possuir, escolhendo assim o melhor preço dentre os materiais que satisfizeram as predeterminações.

Para confecção da tampa e da base foi utilizado polipropileno (PP), que, de acordo com Bollini *et al.*, (2012, p.5), é um dos termoplásticos estereorregulares mais importantes encontrados no mercado atual, principalmente devido ao seu baixo custo e por apresentar um ótimo balanço de propriedades físicas, mecânicas, térmicas, químicas e elétricas, que não são encontradas em outros termoplásticos. Todas essas características, aliadas à facilidade de processamento fazem do PP um material muito atrativo industrialmente e capaz de competir com polímeros de mais alto custo em uma grande variedade de aplicações de engenharia.

Para confecção do corpo cilíndrico foi utilizado acrílico, que também é chamado de polimetilmetacrilato (PMMA). De acordo com Pimenta *et al.*, (2010, p.28), o PMMA apresenta alta resistência mecânica e estabilidade química, baixo alongamento na ruptura, alta resistência à abrasão e boa aplicação como material óptico, tornando-o um material interessante para a finalidade de posteriores pesquisas, nas quais é importante a visualização do processo de percolação. As qualidades relatadas anteriormente, aliadas ao baixo custo e alta disponibilidade no mercado nacional, fazem desse material uma excelente alternativa de matéria prima.

2.4 Listagem de peças

Após a concepção do projeto e a seleção adequada dos materiais a serem utilizados, foi elaborada uma lista, contendo todas as peças e acessórios necessários para a montagem de uma coluna:

- a. 1m de varão com diâmetro de 0,8 cm em aço galvanizado, com rosca;
- b. 2 válvulas (registros) em aço galvanizado com 1/4";
- c. 2 conectores em aço galvanizado com 1/4";
- d. 6 porcas de 0,8 cm;
- e. 6 arruelas de 0,8 cm;
- f. 1 tampa em borracha com diâmetro igual a 1 cm;
- g. 2 O-rings;
- h. 1 adaptador que funcione como suspiro adaptado à tampa;
- i. 2m de mangueira de 1/4" de diâmetro externo;



- j. 17 cm de tubo de acrílico;
- k. 8cm de tarugo de polipropileno;
- l. 2 tiras de manta de borracha com dimensões 5mm x 315 mm.

2.5 Compra dos materiais

Após a definição das peças a serem utilizadas, foi comprado o tarugo de polipropileno com diâmetro externo de 150 mm e comprimento de 500 mm e o tubo em acrílico com diâmetro externo de 111 mm, diâmetro interno de 100mm e comprimento de 1000 mm. A compra foi realizada a partir de um fornecedor de São Paulo - SP, pois o mercado local de Juiz de Fora - MG não possuía os materiais com as especificações necessárias ao projeto. As demais peças e acessórios (registros, conectores, varão em aço, porcas, arruelas, tampa em borracha, mangueira, suspiro e o-rings) foram comprados em lojas de ferragem, peças hidráulicas e ferramentas. Também foi adquirida uma serra de fita para o posterior corte do polipropileno.

2.6 Execução

2.6.1 Corte e Polimento

Para iniciar a montagem da coluna foi necessário, primeiramente, cortar o tarugo de polipropileno e o tubo em acrílico, nas dimensões já especificadas: 3cm para a tampa, 3cm para a base e 17cm para o corpo. Para evitar perdas no processo, atribuiu-se uma margem de segurança de 0,5cm para o corte do polipropileno e 1cm para o corte do acrílico. Foi feita uma busca por laboratórios da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) que tivessem disponibilidade e equipamentos adequados para serrar os materiais propostos.

O acrílico é um material de fácil corte e já nas primeiras buscas o trabalho foi realizado sem muitas dificuldades no Laboratório de Práticas do Instituto de Artes e Design (LabDESIGN), utilizando uma serra de esquadria universal com braço telescópico RT-XM 305 U (250mm x 30mm x 2,2mm), conforme é ilustrado na Figura 3a. As extremidades da peça de acrílico cortada foram polidas por uma lixadeira de cinta industrial (Figura 3b). Quanto ao tarugo maciço de polipropileno, encontrou-se dificuldades significativas no corte, devido às propriedades do material e susceptibilidade à fusão. Diversas serras disponíveis foram testadas sem sucesso no LabDESIGN, culminando sempre no derretimento da peça, como mostra a Figura 3c. Por fim, foi adquirida, para o Laboratório de Processos de Fabricação II da UFJF, uma serra fita (20 mm x 0,85 mm x 2362 mm), a qual foi acoplada em um equipamento com sistema de resfriamento disponível, evitando assim a perda de material em razão do calor emitido no processo, o que mostra a Figura 3d.



Figura 3. (a) Corte do acrílico; (b) Polimento do acrílico; (c) Tentativa de corte do tarugo de polipropileno sem sistema de resfriamento; (d) Corte do tarugo com sistema de resfriamento.

Fonte: Autoras (2019).



2.6.2 Acabamento e montagem

Após os cortes, foi realizado trabalho em torno mecânico e centro de usinagem a fim de executar as ranhuras e sulcos necessários para os encaixes entre as peças, houve uma modificação no formato das ranhuras direcionadas ao centro da peça, devido à limitação do equipamento (ROMI D600). É possível observar o novo projeto com as devidas modificações na Figura 4:



Figura 4. Painel de controle e programação do centro de usinagem.

Fonte: Autoras (2020).

2.7 Teste

Para verificar a estanqueidade do equipamento preencheu-se o mesmo com água, para observar em suas junções e conexões a ocorrência de possíveis vazamentos e caminhos preferenciais da água. Porém, já durante o processo de enchimento o aparelho apresentou vazamentos no registro superior e no encaixe do corpo cilíndrico com a base, conforme mostra a Figura 5a.

Foi observado que a vedação original dos registros e dos *o-rings* não foi suficiente para conter a água no equipamento. Mediante essa situação, foi utilizada fita veda rosca para estancar os vazamentos nos registros e conexões, além de manta de borracha para vedar os espaços entre o corpo cilíndrico e a base, conforme Figura 5b.

Após tais medidas, o equipamento mostrou bom funcionamento e foi preenchido completamente sem indícios de vazamentos, conforme mostram as Figuras 5c e 5d.

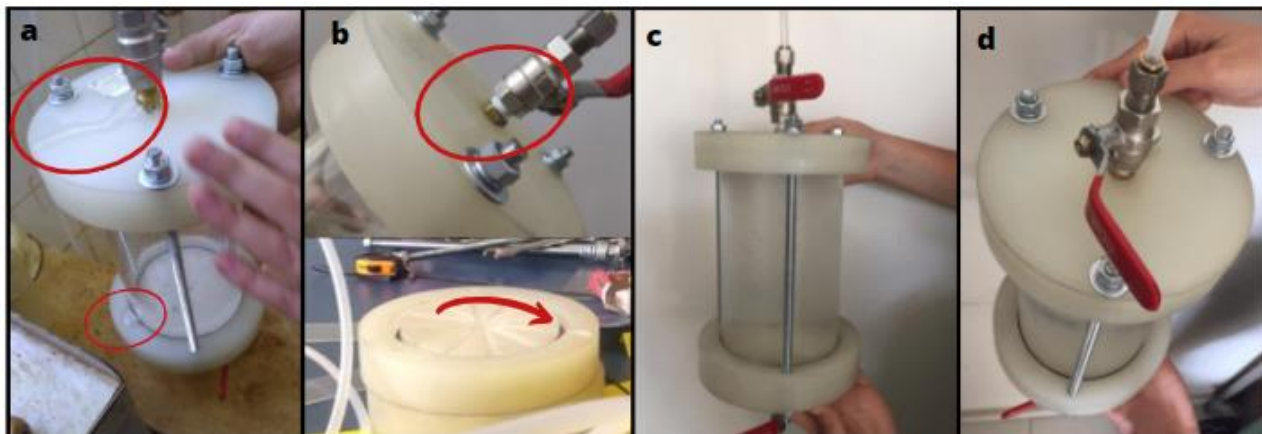


Figura 5. (a) Equipamento apresentando vazamentos; (b) Locais em que foram feitos os ajustes; (c) Equipamento montado após ajustes; (d) Detalhamento da tampa.

Fonte: Autoras (2020).



3. Considerações Finais

Através deste trabalho construiu-se um equipamento adequado e eficaz para realização de ensaios laboratoriais em coluna. Para isso, foi elaborada uma metodologia, que permite a reprodução e aperfeiçoamento do aparato técnico, a fim de auxiliar futuras pesquisas relacionadas ao transporte de contaminantes no solo. Comprovou-se a estanqueidade do equipamento através do teste com água e foi observado que não houve vazamentos após complemento com fita veda rosca e manta de borracha em suas junções e conexões.

O processo de execução foi composto pelas seguintes etapas: concepção do projeto, seleção e compra dos materiais mais adequados, corte e polimento das peças e por fim, a montagem e teste da coluna. Todo esse procedimento foi baseado em pesquisas preliminares sobre a execução do ensaio em coluna, a reação de contaminantes com os mais variados materiais e o transporte de contaminantes de solo, que permitiram escolher a melhor forma de se construir o equipamento destinado a avaliar a percolação de contaminantes no solo, podendo então ser utilizada para contaminantes inorgânicos ou não.

De acordo com a pesquisa bibliográfica realizada observou-se que o equipamento atende aos requisitos necessários para ser incorporado no sistema da Figura 1 e fornecer resultados consistentes nos ensaios a serem realizados. Os objetivos propostos foram alcançados e para pesquisas posteriores, pretende-se ainda fazer o teste de percolação com areia e solos argilosos compactados.

AGRADECIMENTOS

À Secretaria de Educação Superior (SESu) do Ministério da Educação (MEC) pela participação de uma bolsista do Programa de Educação Tutorial (PET), à Universidade Federal de Juiz de Fora pela participação de uma bolsista do programa de Iniciação Científica e às professoras Dra. Júlia Righi de Almeida e Dra. Cátia de Paula Martins pelas orientações e total apoio no decorrer deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bergmann, C. R. (2016). *Estudo Experimental e Analítico do Transporte de Contaminantes em Solo Com Finos*. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.
- Bollini, G.S.(2012) *Influência de Polipropileno Maleado no Comportamento de Fratura (Ewf) De Compósitos de Polipropileno/Fibra de Vidro*. Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia De Materiais da Universidade Federal de São Carlos, p.5.
- Pimenta, P.O.B. (2010) *Amidação de Poli(metacrilato de metila)*.Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, do Programa de Pós-Graduação em Química, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, p.28.
- Demuelenaere, R.G.A.(2004) *Caracterização de Propriedades de Transporte de metais Pesados em Solos Residuais do Rio de Janeiro* .Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.
- Martins, C.P. (2010) *Construção, Instrumentação e Monitoramento de um Lisímetro in situ para Avaliação da Biodegradação de Benzeno e Tolueno em Solo Residual De Gnaiss*. Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de Magister Scientiae.
- Martins, C.P. (2015) *Avaliação da Biodegradação de Compostos Bt da Gasolina, com e sem a adição de Etanol, em Solos Residuais de Gnaiss por meio de Ensaio em Colunas*. Tese apresentada à Universidade Federal de

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

Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de Doctor Scientiae.

- Soulé, E. et al. (2006) Thermodynamic analysis of the reaction-induced phase separation of solutions of random copolymers of methyl methacrylate and N,N-dimethylacrylamide in the precursors of a polyurethane network. *Journal of Polymer Science, Parte B: Polymer physics*, v. 44, n. 19, p. 2821-2827.
- Tangram (2005) Polymethyl Methacrylate- PMMA. Polymer Data File- Tangram Technology Ltd., Hertz, England. Disponível em: <http://www.tangram.co.uk/TI-Polymer-PMMA.html>. Acessado em: 23/01/2020.
- Teixeira, T.M.A.(2013) *Montagem e teste laboratorial de coluna para obtenção de parâmetros de transporte e pré-avaliação da técnica de oxidação química em solo contaminado por 1,2-dcb*. Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/13143>. Acessado em: 21/01/2020.
- Kissel, W.J., Han, J.H. (1999) Chapter: Polypropylene: Structure, Properties, Manufacturing Processes and Applications in *Handbook of Polypropylene and Polypropylene Composites*, ed. I. Karian H.G.. Marcel Dekker. N.Y.