

**CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DE CAMADAS DE RESÍDUOS
ORGÂNICOS E MISTURA DE SOLO + AREIA DESCARTADA DE
FUNDIÇÃO**

Thais Alice Quinalha ¹; Gisleiva Cristina dos Santos Ferreira ²; Marta Silvierio Guilherme Pires³

Resumo – Dada a problemática ambiental atual, sabe-se da importância do descarte correto dos resíduos urbanos e industriais, que deve ocorrer de acordo com as normas e regras governamentais existentes. Com isso, também é necessário aumentar a eficiência dos espaços físicos reservados à disposição final dos resíduos e rejeitos, isto é, os aterros sanitários. Para atingir tal necessidade, pode-se inferir uma funcionalidade aos resíduos, dispostos em aterros, que ainda apresentam características técnicas e ambientais suficientes. Portanto, o objetivo deste foi determinar a condutividade hidráulica saturada de permeâmetros formados por camadas de resíduos orgânicos pré-selecionados e cobertura de mistura de solo + areia descartada de fundição oriunda do processo areia verde. Para isso, foram coletados dados para possibilitar a determinação do volume do lixiviado gerado e condutividade hidráulica. Assim, este estudo fornecerá dados fundamentais sobre aplicação de areia descartada de fundição em aterros sanitários, o que poderá viabilizar a aplicação deste em escala.

Abstract – Abstract - Given the current environmental problems, it is known the importance of the correct disposal of urban and industrial waste, which must occur in accordance with existing governmental rules and regulations. Thus, it is also necessary to increase the efficiency of the physical spaces reserved for the final disposal of wastes and wastes, ie landfills. In order to achieve this need, a feature can be inferred to waste disposed in landfills, which still have sufficient technical and environmental characteristics. Therefore, the objective of this study was to determine the saturated hydraulic conductivity of permeameters formed by layers of pre-selected organic residues and soil mix coverage + discarded cast sand from the green sand process. For this, data were collected to allow the determination of the volume of leachate generated and hydraulic conductivity. Thus, this study will provide fundamental data on the application of discarded sand castings in sanitary landfills, which may allow the application of this scale.

Palavras-Chave – Aterros Sanitários, Resíduos sólidos, Permeabilidade.

¹ Tecnóloga, Universidade Estadual de Campinas - SP, (19) 2113-3484, thaisalicequinalha@gmail.com
² Professora Doutora, Universidade Estadual de Campinas - SP, (19) 2113-3484, gisleiva@ft.unicamp.br
³ Professora Doutora, Universidade Estadual de Campinas - SP, (19) 2113-3484, marta@ft.unicamp.br

1. INTRODUÇÃO

Considerando a preocupação mundial com o desenvolvimento sustentável, é imprescindível repensar os sistemas produtivos com vistas principalmente à redução na geração de resíduos. Mas em alguns casos isso se faz compulsório, logo cabe aos geradores e a sociedade promover a utilização funcional desses passivos ambientais.

Dentre os principais geradores de resíduos sólidos, destacam-se as indústrias de fundição, as quais utilizam areia quartzosa como molde para as peças metálicas e após alguns ciclos de utilização descartam este material em aterros sanitários convencionais. Anualmente são geradas 3 milhões de toneladas de areia descartada de fundição (ADF) no Brasil (ABIFA, 2014; AFS, 2014).

Diante desse cenário, alguns pesquisadores identificaram que a ADF pode ser aplicada em outros setores produtivos, por exemplo, na construção civil (DOMINGUES et al., 2015; FERREIRA et al., 2014; KLINSKY et al., 2014; BRANDÃO, 2011; COUTINHO NETO, 2004; BONIN, 1995). Nesse setor, destaca-se a possibilidade de utilizar a ADF na correção granulométrica de solos argilosos, viabilizando a sua utilização como cobertura de resíduos em aterros sanitários (DOMINGUES et al., 2016; FERREIRA et al., 2014; NABHANI, MCKIE e HODGSON, 2013; KLINSKY, FURLAN e FABRI, 2012; KLINSKY e FABRI, 2008; BAKIS, KOYUNCU e DEMIRBAS, 2006; GUNEY et al., 2006). Entretanto, deve-se considerar apenas lotes de ADF identificados como “areia verde”, os quais não apresentam adições de resinas orgânicas e são classificados como II-A (Resíduos não perigosos e não inertes) segundo a NBR10004/2004.

Essa aplicação é promissora tanto para o gerador da ADF como para os aterros que recebem este tipo de resíduo. No caso das indústrias de fundição, definir uma funcionalidade para um dos seus passivos ambientais irá melhorar os seus índices de sustentabilidade, além de possibilitar a redução com gastos de destinação final do resíduo. Isso pode ocorrer porque o resíduo se tornaria um material funcional dentro da estrutura de um aterro sanitário, havendo economias principalmente em relação ao transporte.

Entretanto, deve-se respeitar as normas, projeto, operação e manutenção dos aterros sanitários. O principal requisito que as normas NBR 13896/1997 e USEPA 542-F-03-015, 2003 estabelecem é a condutividade hidráulica (k) dos materiais que são utilizados como cobertura dos resíduos, não devendo ser maior que 10^{-6} cm/s, valor que não é especificado para camada final ou camadas diárias. Alguns autores citam que o material utilizado para a cobertura final não deve ser maior que 10^{-9} cm/s. Tal parâmetro é importante porque a condutividade hidráulica do material utilizado para cobertura dos resíduos influencia diretamente na percolação de líquidos dentro do maciço e na formação de lixiviados (chorume), tanto na qualidade como no volume gerado.

1.1. Objetivos

Determinar a condutividade hidráulica de um sistema composto por camadas de resíduos orgânicos e mistura de solo+areia descartada de fundição.

2. METODOLOGIA

2.1. MONTAGEM DO SISTEMA

O sistema consiste em camadas de resíduos orgânicos e respectivas coberturas constituídas de misturas de solo +ADF. As camadas de resíduos orgânicos são compostas por cascas de frutas (figura 1), provenientes do restaurante universitário da Unicamp.



Figura 1: Cascas de frutas picadas e misturadas

A mistura de solo e ADF é composta por 30% de solo laterítico argiloso e 70% de ADF oriunda do processo de fundição identificado como “areia verde”. Esta proporção foi definida em função dos resultados apresentados por Domingues e Ferreira (2015) e Quinalha e Ferreira (2017), que utilizaram o mesmo solo e ADF dessa pesquisa. Segundo Domingues (2015), a mistura na proporção citada apresenta características físicas (textura) e propriedades mecânicas (resistência ao cisalhamento) ideais para coberturas intermediárias de resíduos em aterros sanitários. Os principais parâmetros obtidos pelos pesquisadores citados estão apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Ensaio realizados para a caracterização dos materiais utilizados no sistema composto por solo, areia descartada de fundição e resíduos orgânicos (cascas de frutas).

Parâmetro	Mistura 30% solo + 70% ADF	Norma
K (cm/s)	$1,47 \times 10^{-6}$	NBR 13896/1997
Classificação ambiental	II-A	NBR 10004/2004
Massa Específica (g/cm ³)	1,93	NBR 7182/1986
Umidade Ótima (%)	9,82	NBR 7182/1986
Limite de Liquidez	41	NBR 6459/1984
Limite de plasticidade	31	NBR 7180/1984
Índice de Plasticidade	10	NBR 7180/1984

Já os resíduos orgânicos, que são cascas de frutas, apresentaram umidade inicial de 93% e densidade aparente de 656g/dm³. A umidade foi determinada a partir de três amostras do lote, mantidas em estufa à 60°C até estabilização da massa. Já a densidade aparente do lote de

resíduo foi obtida com o preenchimento de recipiente com volume conhecido, tomando-se o cuidado de não compactá-lo.

O dispositivo confeccionado para determinar a condutividade hidráulica do sistema composto por camadas de resíduos orgânicos (cascas de frutas) e mistura de solo+ADF (30% + 70%) está representado na figura 2. Para a realização dos ensaios, um reservatório suspenso, com capacidade de 100 litros de água, foi conectado ao dispositivo.

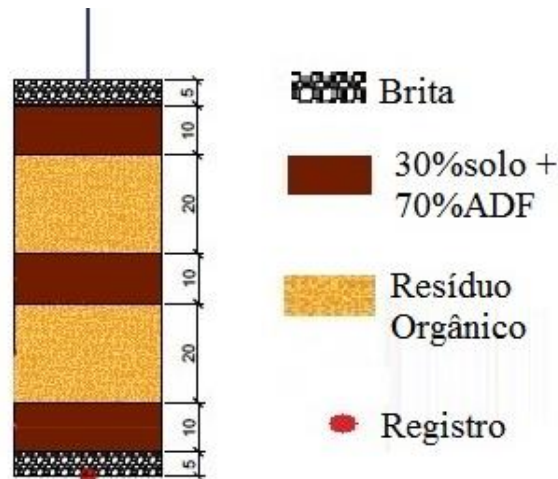


Figura 1. Dispositivo utilizado para se obter a condutividade hidráulica do sistema composto por solo+ADF e resíduos orgânicos (cascas de frutas).

2.2. DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA

Para a determinação da condutividade hidráulica foi adotada a equação 1 e procedimentos descritos na ABNT NBR 14545/2000. Após 11 semanas da confecção do dispositivo, iniciou-se os ensaios para determinar a condutividade hidráulica do sistema, realizando-se 3 repetições.

$$k = \frac{Q}{i \times A} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

K= Coeficiente de permeabilidade ou condutividade hidráulica (m/s)

Q = Vazão (m³/s)

i= gradiente hidráulico obtido por $\Delta h/\Delta L$, onde Δh é a variação da carga hidráulica entre os pontos analisados e ΔL é a distância vertical entre os pontos analisados (m)

A= Área da seção transversal do dispositivo (m²)

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A tabela 2 apresenta os valores de condutividade hidráulica obtidos no dispositivo composto por resíduos orgânicos e mistura de solo+ADF.

Tabela 2. Condutividade Hidráulica

Tempo (s)	Condutividade hidráulica (m/s)
60	$9,07 \times 10^{-7}$
120	$8,3 \times 10^{-7}$
240	$6,69 \times 10^{-7}$
Média	$8,02 \times 10^{-7}$

A partir dos resultados das determinações de condutividade hidráulica saturada ($k = 8 \times 10^{-7}$ cm/s), verifica-se que o valor médio obtido no dispositivo foi menor do que aquele citado pelas normas. Ao comparar esse valor com o $k = 10^{-9}$ cm/s, obtido por Quinalha (2016) em mistura composta pelo mesmo solo e lote de ADF dessa pesquisa, verifica-se que o comportamento do sistema (casca de frutas + mistura de solo+ADF), verifica-se um comportamento compatível aos materiais que podem ser utilizados na cobertura de camadas diárias (maior permeabilidade).

DOMINGUES (2015) obteve $k = 1,67 \times 10^{-8}$ cm/s para uma mistura na mesma proporção (30% solo e 70% de ADF), mas com outro lote de ADF.

A condutividade hidráulica obtida nessa pesquisa é semelhante àquelas apresentadas por Mortatti (2013) e Rocha (2008), que utilizaram um sistema composto por resíduos urbanos e solo, obtendo $k = 5,7 \times 10^{-5}$ cm/s e $3,3 \times 10^{-5}$ cm/s, respectivamente.

Portanto, a ADF apresenta o mesmo comportamento do solo, havendo a necessidade de caracterização a cada mudança de lote.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Faculdade de Engenharia Civil, arquitetura e urbanismos, a Faculdade de Tecnologia, aos funcionários do restaurante universitário, aos professores e técnicos que auxiliaram.

REFERÊNCIAS

- ABNT (1997) NBR 13896: Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro.
- ABNT (2004a) NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- American Foundry Society – AFS.Modern Casting Report.48th Census of World Casting Production – Steady Growth in Global Output.December, pp.17-21.USA, 2014. Acesso em maio de 2017.
- Associação Brasileira de Fundação ABIFA.Disponível em: <<http://www.abifa.org.br>>. Acesso em: outubro de 2017.
- BAKIS, R.; KOYUNCU, H.; DEMIRBAS, A.An investigation of waste foundry sand in asphalt concrete mixtures.Waste Management &Research. v. 24, n. 3. p. 269-274, Turquia, 2006.
- BONIN, A. L. Reutilização da areia preta de fundição na construção civil. Congresso de Fundição. São Paulo, p. 203-221, set. 1995.
- Brandão, F. F. Caracterização de resíuos sólidos da construção civil para sua utilização em camadas drenantes de aterros sanitários. Universidade Federal de Viçosa, 2011.
- COUTINHO NETO, B. Avaliação do reaproveitamento de areia de fundição como agregado em misturas asfálticas densas. Tese de doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos na Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.
- DOMINGUES, L.G.F, FERREIRA, G.C.S. PIRES, M.S.G. Eficiência de aterros sanitários com mistura de solo+ADF na cobertura das camadas de resíduos sólidos. VIII Workshop da pós graduação da Faculdade de Tecnologia, UNICAMP, 28 de setembro de 2016.
- DOMINGUES, L.G.F; FERREIRA, G.C.S. Viabilidade econômica da aplicação funcional de uma mistura de solo com areia descartada de fundição (ADF) em aterros sanitários. Revista Fundição & Matérias-primas (ABIFA), caderno técnico, p. 34-39, novembro, 2015.
- DOS SANTOS FERREIRA, Gisleiva Cristina et al. Viabilidade técnica e ambiental de misturas de solo com areia descartada de fundição. TRANSPORTES, v. 22, n. 2, p. 62-69, 2014.
- DOS SANTOS FERREIRA, Gisleiva Cristina et al. Viabilidade técnica e ambiental de misturas de solo com areia descartada de fundição. TRANSPORTES, v. 22, n. 2, p. 62-69, 2014.
- ENVIRONMENTAL PROTECTAGENCY(USEPA)542-F-03-015.Evapotranspiration Landfill Cover Systems Fact Sheet.United States, Setembro, 2003.
- GUNEY, Yucel; AYDILEK, Ahmet H.; DEMIRKAN, M. Melih.Geoenvironmental behavior of foundry sand amended mixtures for highway subbases. Waste management, v. 26, n. 9, p. 932-945, 2006.
- KLINSKY, L. M. G.; BARDINI, V. S. S.; FABBRI, G. T. P. Efeito da adição de areia de fundição residual e cal a solos argilosos no módulo de resiliência. Revista Transportes 22 (2), 2014.
- KLINSKY, L. M. G.; FURLAN, A. P.; FABBRI, G. T. P. Efeito da Adição de Areia de Fundição e Cal em algumas Propriedades de Solos Argilosos. Revista Transportes 20, (1), 22-30, 2012.
- KLINSKY, L. M. G; FABBRI, G. T. P. Proposta de reaproveitamento de areia de fundição em sub-bases e bases de pavimentos flexíveis, através de sua incorporação a solos lateríticos argilosos. Departamento de Transportes. Escola de Engenharia de São Carlos na Universidade de São Paulo. São Carlos, SP, 2008.
- MORTATTI, B. C. Determinação da condutividade hidráulica e análise química do lixiviado de resíduos sólidos urbanos utilizando permeâmetro de grandes dimensões. Dissertação (Mestrado no Instituto de Geociências) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, 2013, 110p.
- NABHANI, F.; MCKIE, M.; HODGSON, S.A case study on a sustainable alternative to the landfill disposal of spent foundry sand. International Journal of Sustainable Manufacturing 3 (1), 1-19, 2013.
- Rocha, E.F. da, Azevedo, R.F. de. (2008) Determination of Hydraulic Conductivity and Field Capacity of Municipal Solid Waste. XIV Brazilian Congress of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Búzios/RJ. 2008, CD-Rom (in portuguese).