

## **CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DE AREIAS DESCARTADAS DE FUNDIÇÃO UTILIZADAS NA COBERTURA DE RESÍDUOS EM ATERROS SANITÁRIOS**

L.G.F. Domingues, G. C.S. Ferreira, M.S.G. Pires, I. Teixeira, R. Carnin, W.S. Sarro  
Av. Paschoal Marmo, 1888, Limeira, SP, Brasil. E-mail: lucienegferrari@gmail.com  
Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas

### **RESUMO**

*A política nacional de resíduos sólidos preconiza a redução da geração de resíduos sólidos e o reaproveitamento dos mesmos em diferentes aplicações. Estudos preliminares comprovam que as areias de fundição, geradas do desmolde de peças metálicas fundidas, tem excelente aplicabilidade na estabilização granulométrica de solos para funções geotécnicas, e desta forma, não devem ser descartadas como rejeito. Este estudo visou a caracterização ambiental de dois lotes de areia descartada de fundição (ADF), provenientes de diferentes indústrias, para a estabilização granulométrica de um solo argiloso para aplicação na cobertura de resíduos sólidos em aterros sanitários. A metodologia abrangeu ensaios de caracterização físico-química (granulometria, permeabilidade, FRX e metais pesados) e ambientais (NBR 10004:2004; NBR 10005:2004; NBR 10006:2004 e toxicidade aguda com *Vibrio fischeri*). Com os resultados foi possível comprovar a viabilidade ambiental da utilização destes lotes de ADF como material funcional na composição de aterros sanitários.*

**Palavras-chave:** resíduos sólidos; reaproveitamento; toxicidade.

### **1. INTRODUÇÃO**

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS - Lei n. 12.305, 2010), de encontro com os protocolos mundiais para sustentabilidade dos processos

industriais e de serviços, pressiona os geradores de rejeitos, a comunidade acadêmica a sociedade como um todo, para esforços para redução da geração de resíduos e reaproveitamento dos rejeitos.

Neste contexto, as indústrias de fundição atuam como forte seguidor na geração do resíduo areia descartada de fundição (ADF), as quais, após sucessivos processos de fundição de peças metálicas, descartam este resíduo em aterros sanitários classe II-A (não perigosos e não inertes).

Estima-se uma geração em torno de 44,5 milhões de toneladas de ADF na China, seguido dos EUA com cerca de 12,5 milhões e Índia com 10 milhões de toneladas, assim como em países europeus, como Alemanha (5,2 milhões de toneladas anuais), e França e Itália com 1,8 milhões de toneladas. No Brasil, a geração é em torno de 3 milhões de toneladas de ADF por ano (AFS, 2014).

Pesquisas indicam o retorno positivo na aplicação da ADF em diferentes setores da construção civil (DOMINGUES e FERREIRA, 2015; MASTELLA et al. 2014; KLINSKY, BARDINI e FABBRI, 2014; FERREIRA et al., 2014; SIDDIQUE e DHANOA, 2013).

Neste contexto, este trabalho propõe a caracterização ambiental de dois lotes distintos de ADF, visando a aplicação como cobertura de resíduos sólidos em aterros sanitários. Para viabilizar tal aplicação também foram realizados ensaios de caracterização físico-química destas amostras e misturas com solo argiloso.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

Foram utilizados dois lotes distintos de areia descartada de fundição (A e B), os quais são oriundos do processo de fundição chamado “areia verde”, que apresenta desempenho ambiental satisfatório, conforme os requisitos de normas ambientais para resíduos sólidos (DOMINGUES e FERREIRA, 2015 e 2014; ZHANG et al., 2013; SOARES et al., 2010 e COZ et al., 2006).

Partiu-se de um solo do tipo laterítico argiloso, presente na região metropolitana de Campinas, SP, com o objetivo de viabilizar a sua aplicação na cobertura de camadas de resíduos sólidos, considerando as dificuldades em realizar o seu espalhamento e compactação. Para isso, fez-se uso da técnica chamada estabilização granulométrica, misturando materiais com texturas distintas, no caso solo e ADF, e assim obter as propriedades desejadas. Alguns autores já

comprovaram a viabilidade mecânica e funcional destas misturas (DOMINGUES e FERREIRA, 2015 e 2014; QUISSINI, 2009; LUKIANTCHUKI, 2007, KLINSKY, BARDINI e FABBRI, 2014).

Conforme estudo de Domingues e Ferreira (2015), que estudaram a estabilização granulométrica do mesmo solo com ADF, verificaram a viabilidade ambiental e mecânica do teor máximo de 70% de ADF para cobertura de resíduos em aterros sanitários.

Um dos parâmetros essenciais para viabilizar a aplicação desejada é o limite máximo do coeficiente de permeabilidade (K) de até  $10^{-6}$  cm/s, citado pelas normas nacionais e internacionais sobre execução de aterros sanitários (NBR 13986:1997 e EPA 542-F-03-015:2003). Este ensaio e os demais realizados nesta pesquisa estão apresentados na tabela 1, assim como suas respectivas normas.

**Tab. 1** – Metodologia para caracterização dos materiais estudados.

<b>Ensaio</b>	<b>Norma</b>
Granulometria	NBR 7181:1994
Compactação (Proctor Normal)	NBR 7182:1986
Permeabilidade	NBR 14545: 2000
Classificação de resíduos sólidos (massa bruta, solubilizado e lixiviado)	USEPA SW 846:2004 NBR 10004:2004
Toxicidade <i>Vibrio fischeri</i> - Microtox™	L5.227- CETESB (2001)
FRX – Fluorescência de Raios X	

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Caracterização físico-química

Conforme ensaios de Fluorescência de Raios X (FRX), a tabela 2 apresenta os principais elementos químicos presentes nos lotes de ADF e respectivas porcentagens.

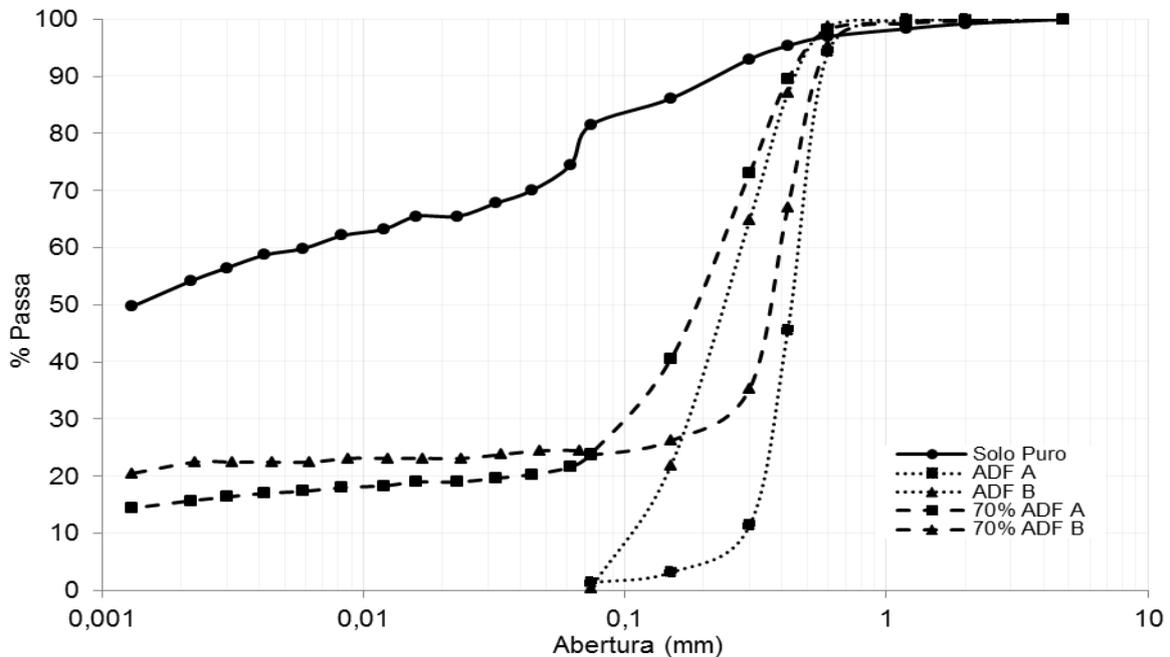
**Tab. 2 – Resultados dos ensaios de FRX realizados nos lotes de ADF A e B.**

Elemento químico	ADF A (%)	ADF B (%)
SiO <sub>2</sub>	<b>91,7</b>	<b>71,46</b>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<b>0,75</b>	<b>18,38</b>
SO <sub>3</sub>	-	2,35
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,14	2,25
CaO	2,29	1,02
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	0,73
K <sub>2</sub> O	0,11	0,20
TiO <sub>2</sub>	<0,10	0,18
MgO	0,27	-

O maior teor de sílica (SiO<sub>2</sub>) determinado na ADF A, identifica o principal mineral presente na areia. Já na ADF B, destaca-se o óxido de alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), que pode ser justificado pela presença de resíduos oriundos das ligas metálicas fundidas neste lote.

As curvas granulométricas, obtidas a partir dos ensaios de granulometria conjunta, para a amostra de solo, lotes de ADF e mistura de solo com ADF estão apresentados na Figura 1.

**Figura 1 – Curvas granulométricas dos materiais e das misturas estudadas**



Considerando a composição química, apresentada na tabela 2, para os dois lotes de ADF e as respectivas curvas granulométricas (figura 1), ambos confirmam

as características granulares dos resíduos estudados. Vale ressaltar que as ADFs apresentam curvas uniformes ou mal graduadas.

Quando comparadas ao solo puro, as misturas apresentam características peculiares de solos arenosos, quando avaliadas pelo método de compactação do tipo Proctor, que as tornam em condições favoráveis ao espalhamento e compactação. A partir deste ensaio são obtidos os parâmetros de massa específica aparente seca máxima e umidade ótima (tabela 3). Tais parâmetros foram necessários na determinação dos coeficientes de permeabilidade (K) das misturas de solo com 70% de ADF A e B. Os resultados também estão apresentados na tabela 3.

**Tab. 3** – Valores de Massa Específica Aparente Seca Máxima, Umidade Ótima e Coeficiente de permeabilidade.

Material	Umidade Ótima (%)	$\rho_{dm\acute{a}x}$ (g/cm <sup>3</sup> )	(K) cm/s
Solo Puro	23,4	1,589	$5,36 \times 10^{-7}$
70% ADF A	12,7	1,961	$1,47 \times 10^{-6}$
70% ADF B	12,1	1,920	$3,29 \times 10^{-7}$

Verifica-se que a condição conhecida como estabilização granulométrica foi alcançada, pois quando se adiciona ADF ao solo tipicamente argiloso, grãos de dimensão média são incorporados gerando uma variação nas dimensões do material, permitindo um arranjo mais eficiente das partículas, reduzindo assim o índice de vazios e aumentando a densidade. O melhor arranjo das partículas resultou em um aumento médio de 22% na massa específica e redução de 47% na umidade ótima, este último resultante da diminuição da superfície específica.

Observa-se que a incorporação de ADF lote B não alterou o coeficiente de permeabilidade, e, mesmo o lote A tendo aumentado a permeabilidade do solo, não houve impacto significativo para este parâmetro, tendo em vista que todos os materiais apresentaram um coeficiente de permeabilidade (K) igual ou inferior a  $10^{-6}$  cm/s, previsto em normas de execução de aterros sanitários (EPA 542-F-03-015:2003 e NBR 13986:1997). Este parâmetro é essencial para auxiliar os gestores de aterros sanitários a definir os materiais utilizados como cobertura de resíduos, tendo em vista aspectos da infiltração e percolação de lixiviados, recirculação de

gases e decomposição dos resíduos (DOMINGUES e FERREIRA, 2015; FIORE et al. 2014; MIGUEL et al., 2012; GIBBSONS et al., 2014).

### 3.3. Caracterização ambiental

#### 3.3.1 Ensaio de toxicidade

Pelos resultados obtidos no teste de toxicidade (L5.227-CETESB, 2001), os dois lotes de ADF apresentaram nível moderado de potencial tóxico, quando comparados aos resultados da amostra de solo.

Por outro lado, os ensaios ambientais para resíduos sólidos (NBR 10.004:2004) classificam ambas as amostras de ADF como Resíduo Classe II – A (não perigoso e não Inerte), mesma classificação do solo, principal material utilizado na cobertura de aterros sanitários. Os resultados obtidos para os metais estão apresentados na Tabela 3. A ADF A apresentou índices de fenol acima do permitido no solubilizado e na ADF B estes compostos não foram detectados.

**Tabela 3** – Resultados de metais presentes nos lotes de ADF e respectivos limites de concentração descritos na NBR 10004/04

<b>Metais (mg/L)</b>	<b>ADF A (mg/L)</b>	<b>ADF B (mg/L)</b>	<b>Limite ABNT 10004/04 (mg/L)</b>
Cu	<0.005	0.08	2
Fe	0.270	9.22	0.3
Mn	1.5	0.064	0.1
Zn	<0.01	4.6	5.0
Cd	<0.001	0.005	0.005
Cr	0.067	0.20	0.05
Hg	<0.00005	0.13	0.1
Pb	<0.01	0.06	0.01

## 4. CONCLUSÕES

Conforme objetivos do trabalho, os resultados sobre caracterização ambiental das amostras de ADF confirmam a viabilidade das suas utilizações como material de coberturas de resíduos sólidos em aterros sanitários, isto segundo os parâmetros da

norma de classificação ambiental considerada (NBR 10004:2004). Como informações complementares e que corroboram a conclusão acima, têm-se os resultados dos ensaios de toxicidade e metais pesados. Para viabilizar a funcionalidade destes lotes de ADF na estabilização granulométrica de solos argilosos para a mesma finalidade obteve-se os respectivos coeficientes de permeabilidade, os quais respeitaram os limites propostos pelas normas EPA 542-F-03-015:2003 e NBR 13986:1997.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Foundry Society – AFS. Modern Casting Report. **48<sup>th</sup> Census of World Casting Production – Steady Growth in Global Output**. December, pp.17-21. USA, 2014.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. **NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, Brasil, 2004.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. **NBR 14545: Solo – Coeficiente de permeabilidade de solos argilosos à carga variável**. Rio de Janeiro, Brasil, 2000.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. **NBR13896: Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação**. Rio de Janeiro, Brasil, 1997.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. **NBR 7182: Solo: Ensaio de Compactação**. Rio de Janeiro, 1986.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. **NBR 7181: Solo: Análise Granulométrica**. Rio de Janeiro, 1984.
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB. **Norma Técnica L5.227 - Teste de toxicidade com a bactéria luminescente *Vibrio fischeri*: método de ensaio**. São Paulo, Brasil, 2001.
- COZ, A.; MANTZAVINOS, D.; KARAGEORGOS, P.; KALOGERAKIS, N.; ANDRÉS, A.; VIGURI, J. R.; IRABIEN, A. Influence of the organic compounds of the ecotoxicity in the treatment of foundry sludge and olive mill waste. **Annali di Chimica**, v. 96, n. 9-10, pp. 505-514, 2006.
- DOMINGUES, L.G.F; FERREIRA, G.C.S. Functional and environmental performance of waste foundry sand applied in landfills. **International Journal of Environmental Studies** **73**, 2015.
- DOMINGUES, L.G.F; FERREIRA, G.C.S. Management Application of Waste Foundry Sand (WFS) in Solid Waste Landfills. In: **Crete - 4th International Conference on Industrial and Hazardous Waste Management**, Creta, Grécia, v. 1. pp. 39-40, 2014.

Environmental Protect Agency - USEPA 542-F-03-015. **Evapotranspiration Landfill Cover Systems FactSheet**. USA, September, 2003.

FERREIRA, G. C. S.; DOMINGUES, L. G. F.; TEIXEIRA, I.; PIRES, M. S. G. Viabilidade técnica e ambiental de misturas de solo com areia descartada de fundição. **Revista Transportes**, v. 22, n. 2, p. 63-70, 2014.

FIORE, S.; ZANETTI, M.C.; BOTTA, S.; COMOGLIO, C.; LUCIANI, P.; DEMAIIO, M. **Evaluation of the activity of an Italian hazardous waste landfills**. In.: 4th Conference on Industrial and Hazardous Waste Management. Creta, Grécia, 2014.

GIBBONS, R.D.; MORRIS, J.W.F.; PRUCHA, C.P.; CALDWELL, M.D.; STALEY, B.F. Longitudinal data analysis in support of functional stability concepts for leachate management at closed municipal landfills. **Waste Management (34)** pp. 1674 – 1682, 2014.

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.

**Lei n. 13.305 - POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS**, 02 de agosto de 2010.

LUKIANCHUKI, J. A. **Influência do teor de bentonita na condutividade hidráulica e na resistência ao cisalhamento de um solo arenoso utilizado como barreira impermeabilizante**. Dissertação de Mestrado da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil, 124 p, 2007.

MIGUEL, M. G.; BELINASSI, L.; DOMINGUES, L.M.; NOUR, E.A.A; PEREIRA, S.Y. Variations of the physical and chemical characteristics of sanitary landfill leachate after percolation into tropical soils. **Chemical Engineering Transactions (28)**, pp. 19-24, 2012.

QUISSINI, C. S. **Estudo da aplicação da areia descartada de fundição como material alternativo para camada de cobertura de aterro de resíduos**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 83 p, 2009.

SIDDIQUE, R.; DHANOA, G, S. Development of Concrete using Waste Foundry Sand. In: **Congresse Advances in Cement and Concrete Technology in Africa**, África do Sul, 2013.

SOARES, W. A. A.; FERRARESI, G. N.; QUINÁGLIA, G. A.; UMBUZEIRO, G. A. Toxicidade do resíduo areia de fundição utilizando o teste com a bactéria luminescente *Vibrio fischeri*. **Revista Brasileira de Toxicologia 23**, n. 1- 2, pp. 17- 21, 2010.

Environmental Protect Agency - USEPA 846. **Evaluating Solid Waste**. Washington DC, USA, 2004.

ZHANG, H. F.; WANG, Y. J.; WANG, J. L.; HUANG, T. Y.; XIONG, Y. Environmental Toxicity of Waste Foundry Sand. *Huanjing Kexue/Environmental Science*, v. 34 (3), pp. 1174-1180, 2013.

## ENVIRONMENTAL CHARACTERIZATION FOUNDRY SANDS USED IN SANITARY LANDFILLS

### ABSTRACT

The national solid waste policy recommends reducing solid waste generation and reusing them in different applications. Preliminary studies show that the foundry sand generated from cast metal parts undercut, has excellent applicability in grain size stabilization of soils for geotechnical functions, and therefore, should not be discarded as waste. This study aimed at environmental characterization of two lots of waste foundry sand (WFS), from different industries, to the particle size stabilization of a clayey soil for use in coverage of solid waste in landfills. The methodology included physicochemical characterization tests (grain size, permeability, XRF and heavy metals) and environmental (NBR 10004: 2004, NBR 10005: 2004, NBR 10006: 20004 and acute toxicity with *Vibrio fischeri*). The results prove the environmental viability of using these lots of WFS as functional material in the composition of landfills.

**Key-words:** solid wastes, reuse; toxicity.