

## Viabilidade técnica e ambiental de misturas de solo com areia descartada de fundição

Gisleiva Cristina dos Santos Ferreira<sup>1</sup>, Luciene Gachet Ferrari Domingues<sup>2</sup>, Ivonei Teixeira<sup>3</sup>, Marta Siviero Guilherme Pires<sup>4</sup>

**Resumo:** Cerca de 2 milhões de toneladas anuais de areia descartada de fundição (ADF) são geradas no Brasil, sendo depositadas prioritariamente em aterros sanitários. Para diminuir o impacto ambiental, há normas nacionais e internacionais sobre aplicações deste resíduo na construção civil. O objetivo deste trabalho foi verificar a viabilidade técnica e ambiental da incorporação de ADF na estabilização granulométrica de um solo laterítico argiloso para aplicação em pavimentos. Foram estudadas misturas de solo laterítico argiloso+ADF (20 a 80% de substituição). Os resultados obtidos indicaram granulometria e plasticidade típicas de materiais granulares a partir do teor de 50%. Nos ensaios de CBR houve o aumento do índice em relação ao solo puro no teor de 70%. Os ensaios ambientais não indicaram risco de contaminação. Portanto, a mistura de solo laterítico argiloso+70% de ADF apresentou maior viabilidade para aplicação nas camadas de pavimentos flexíveis.

**Palavras-chave:** Resíduos sólidos. Pavimentos. Impacto ambiental.

**Abstract:** About 2 million tons of waste foundry sand (WFS) are generated annually in Brazil, which are primarily discarded in landfills. To reduce the environmental impact, there are national and international applications of this waste in civil construction. The objective of this study was to verify the technical and environmental viability of WFS incorporation in stabilization of lateritic soil-clay used in pavements. The behavior of mixtures of lateritic soil-clay with a WFS was studied (20 to 80% of substitution). The results indicated typical granulometry and plasticity of granular materials from the level of 50%. At CBR tests, there was an increased index relative to the pure soil up to level of 70% WFS. The environmental tests indicated no risk of contamination. Therefore, the sample of soil-clay mix of 70% WFS studied showed higher viability for application in layers of flexible pavements.

**Keywords:** Solid waste. Pavements. Environmental impact.

### 1 INTRODUÇÃO

Dentre os processos industriais geradores de resíduos sólidos no mundo se destacam as indústrias de fundição de peças metálicas, as quais segundo dados da ABIFA (Associação Brasileira de Fundição) geraram no primeiro trimestre de 2012 cerca de 770 toneladas de areia descartada de fundição (ADF), sendo a maior parte desse resíduo depositado em aterros sanitários próprios ou de terceiros, prática inviável devido à vida útil destes locais.

Ainda, os Estados Unidos se destaca como um dos maiores pólos mundiais de fundição de

metais, utilizando cerca de 100 milhões de toneladas de areia no processo de produção, gerando aproximadamente de 6 a 10 milhões de toneladas anuais de ADF (AFS, 2013). O ideal para estas indústrias seria reduzir a geração de resíduos, conforme processos já aplicados nas indústrias japonesas do setor de fundição. Entretanto, enquanto isso não acontece são necessários estudos que sugiram alternativas de uso deste resíduo em outras atividades. Estudos realizados no Brasil e no exterior comprovaram que esse resíduo pode ser considerado uma fonte de matéria-prima alternativa para utilização na construção civil e agricultura com ganhos ambientais, técnicos e econômicos. Como a área de pavimentação utiliza grande volume de material, o uso de ADF nas camadas estruturais e no revestimento é interessante para consumir o passivo ambiental já existente.

Uma alternativa para implementar resíduos sólidos como material de pavimentação é utilizá-los na estabilização granulométrica de materiais classificados como não utilizáveis. Este método foi aplicado por outros autores, onde utilizaram lodo de estação de tratamento de

<sup>1</sup> Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Faculdade de Tecnologia – FT (gisleiva@ft.unicamp.br).

<sup>2</sup> Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Faculdade de Tecnologia – FT (luciene.domingues@pos.ft.unicamp.br).

<sup>3</sup> Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Faculdade de Tecnologia – FT (ivo@ft.unicamp.br).

<sup>4</sup> Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Faculdade de Tecnologia – FT (marta@ft.unicamp.br).

esgoto para melhorar solos empregados nas camadas de base e sub-base de pavimentos flexíveis (Lucena, 2013).

Klinsky, Furlan e Fabbri (2012) realizaram um estudo de aplicação de ADF em base de areia asfalto usinado a quente (AAUQ), adicionando cal hidratada, agregado fino de basalto e emulsão asfáltica. As misturas testadas foram submetidas aos ensaios de módulo de resiliência, resistência à tração por compressão diametral e fluência por compressão uniaxial estática. Os resultados obtidos indicaram que a adição da cal, agregado fino e emulsão alifática diminuíram o volume de vazios das misturas e aumentou os valores do módulo de resiliência. Coutinho Neto (2004) e Bakis, Koyuncu e Demirbas (2006) concluíram que pode-se utilizar de 10 a 15% de ADF em misturas asfálticas, mantendo-se as características técnicas do pavimento e sem contaminação do ambiente.

Outros autores estudaram a aplicação de ADF nas camadas estruturais do pavimento (Klinsky, 2013; Mgangira, 2006; Guney, Aydi- lek e Demirkan, 2006). Estes estudos apontam ser possível a estabilização granulométrica com ADF até o teor de 70% de substituição.

No Brasil há algumas normas editadas sobre aplicações de ADF, como a NBR 15702 (ABNT 2009), a qual descreve a aplicação de ADF em asfaltos e aterros de resíduos sólidos e a NBR 15984 (ABNT 2011), a qual dispõe sobre os procedimentos adequados ao processamento, armazenamento e destinação de ADF.

No estado de São Paulo está em vigor desde 2007 uma Decisão de Diretoria da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB, 152/2007/C/E), sobre os procedimentos para o gerenciamento da areia descartada de fundição. Já no estado de Santa Catarina, está em vigor desde 2008 a Resolução nº 011 publicada pelo CONSEMA - Conselho Estadual do Meio Ambiente, a qual estabelece critérios para a utilização de ADF na produção de concretos asfálticos.

Um dos critérios de maior relevância quanto à reutilização de resíduos é a avaliação do mesmo quanto à sua toxicidade. Dentre os diversos testes ecotoxicológicos existentes, destaca-se para ensaios em ADF, o de toxicidade aguda com utilização da bactéria luminescente *Vibrio fischeri*, o qual permite a medida da inibição de emissão de luz da bactéria quando em contato com uma substância tóxica (Soares *et*

*al.*, 2010). Já a NBR 10004 (2004) em seu anexo H, classifica a ADF como classe II A – resíduo não perigoso e não inerte.

Levando em consideração a problemática da sustentabilidade quanto à geração e descarte de ADF, insere-se neste contexto a necessidade de novos estudos e tecnologias que possibilitem uma maior reutilização deste resíduo como fonte de matéria-prima alternativa aos diferentes tipos de materiais, de forma a conseguir benefícios ambientais, econômicos e de ordem social.

O objetivo deste trabalho foi verificar a viabilidade técnica e ambiental da aplicação de areia descartada de fundição (ADF) na estabilização granulométrica de uma amostra de solo laterítico argiloso para utilização nas camadas granulares de um pavimento. Para tanto, foram realizados ensaios de caracterização física, mecânica e classificação ambiental da amostra de ADF e das misturas de solo+ADF.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O solo estudado foi coletado no campus da Unicamp – Limeira, SP e preparado de acordo com a NBR 6457 (ABNT 1986a) para posterior realização dos ensaios. A amostra de ADF foi obtida em uma empresa de fundição de pequeno porte localizada na região de Limeira, SP, a qual em seu processo de moldagem utiliza areia verde, constituída de 78% de areia de quartzo, 20% de cimento Portland e 2% de vinhaça. A indústria já destina 20% do resíduo de ADF para fabricação de blocos de concreto sem função estrutural.

Neste trabalho foram estudadas misturas de solo+ADF com substituição do solo por 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70% e 80% de ADF. Para caracterização física das amostras do solo, ADF e das misturas de solo+ADF foram realizados ensaios de determinação da massa específica (NBR 6508, ABNT 1984a), análise granulométrica (NBR 7181, ABNT 1984b), limite de liquidez (NBR 6459, ABNT 1984c) e limite de plasticidade (NBR 7180, ABNT 1984 d). Para caracterização mecânica do solo e das misturas de solo+ADF foram aplicados ensaios de compactação pelo método Proctor intermediário (NBR 7182, ABNT 1986b), CBR (NBR 9895, ABNT 1987), mini-MCV (DNER-ME 258/1994a) e perda de massa por imersão (DNER-ME 256/1994b), possibilitando a classificação pelo sistema MCT (Miniatura, Compac-

tado, Tropical). Todos os ensaios foram necessários na identificação da viabilidade técnica das misturas, comparando-se os resultados com as normas vigentes para pavimentação, bem como os métodos de classificação HRB (Highway Research Board) e USCS (Unified Soil Classification System) e MCT.

Ainda, na amostra de solo e na mistura de solo+ADF (a qual apresentou resultados mais satisfatórios quanto à utilização nas camadas de base e sub-base de pavimentos), realizaram-se ensaios de permeabilidade (NBR 13292, ABNT 1995) e de classificação ambiental: a) Toxicidade

Aguda - Microtox® (Strategic Diagnostic inc., 2004), com aplicação da bactéria luminescente *Vibrio fischeri* (CETESB/L5.227, 2001); b) Classificação ambiental de resíduos sólidos (NBR 10004, ABNT 2004).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

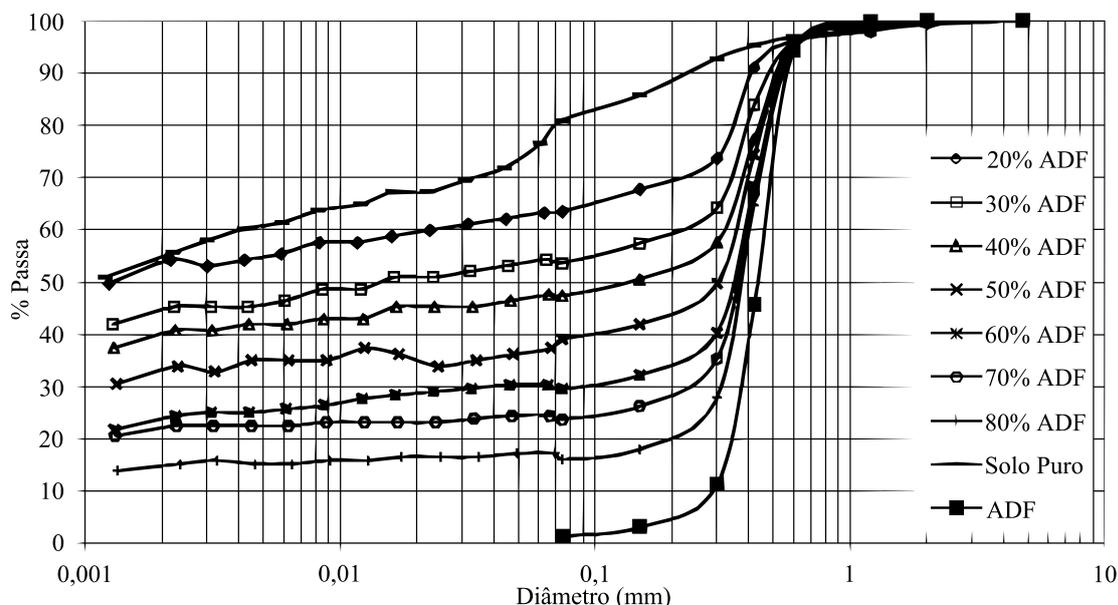
A Tabela 1 e a Figura 1 apresentam os resultados da caracterização física e granulometria, respectivamente, das amostras de solo, ADF e das misturas de solo+ADF.

**Tabela 1** - Valores de massa específica, limites e granulometria

| Material  | P<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | LL<br>(%) | LP<br>(%) | IP<br>(%) | #10<br>(%) | #40<br>(%) | #200<br>(%) |
|-----------|---------------------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|-------------|
| Solo Puro | 2,79                      | 41        | 31        | 10        | 99,68      | 95,23      | 80,95       |
| ADF       | 2,68                      | -         | -         | -         | 100        | 45,65      | 1,37        |
| 20% ADF   | 2,71                      | 34        | 25        | 9         | 99,66      | 91,02      | 63,52       |
| 30% ADF   | 2,71                      | 32        | 24        | 8         | 99,72      | 84,00      | 53,67       |
| 40% ADF   | 2,70                      | 29        | 20        | 9         | 99,75      | 77,24      | 47,34       |
| 50% ADF   | 2,71                      | 28        | 19        | 9         | 99,78      | 74,41      | 39,08       |
| 60% ADF   | 2,70                      | 22        | 17        | 5         | 99,79      | 68,21      | 29,61       |
| 70% ADF   | 2,69                      | 19        | 13        | 6         | 99,89      | 67,03      | 23,75       |
| 80% ADF   | 2,69                      | -         | -         | -         | 99,88      | 64,82      | 16,04       |

Conforme especificações tradicionais (Senço, 2001; Guney, Aydilek e Demirkan, 2006; DNER/PR ES-P 07/2005), a amostra de solo estudada não pode ser empregada em pavimentos devido apresentar valor de IP acima de 6%. Isto comprova a necessidade de estabiliza-

ção granulométrica do material para viabilizar sua aplicação. As misturas de solo+ADF não apresentaram variações significativas em relação à massa específica dos sólidos, cujo valor diminuiu conforme aumento do teor de ADF.



**Figura 1** - Curvas granulométricas dos materiais utilizados

A partir do teor de 60% de ADF, a mistura apresentou características de solo granular, considerado ideal para as camadas de um pavimento

flexível (% passante na peneira n° 200 menor que 35%). Quanto ao teor de 80% de ADF, a quantidade de finos ficou muito baixa (16%), in-

viabilizando sua aplicação devido apresentar dificuldades durante a compactação. Estas observações podem ser confirmadas nas clas-

sificações obtidas pelos métodos HRB, USCS e MCT (Tabela 2).

**Tabela 2 - Classificações HRB, USCS e MCT**

| Material  | Textura   |           |           | HRB   | IG  | USCS  | MCT | c'   | e'   |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|-----|-------|-----|------|------|
|           | Argila(%) | Silte (%) | Areia (%) |       |     |       |     |      |      |
| Solo Puro | 60        | 18        | 22        | A-5   | 8,2 | ML    | LG' | 2,00 | 1,00 |
| ADF       | -         | -         | 100       | A-1b  | 0   | SM    | -   | -    | -    |
| 20% ADF   | 55        | 9         | 36        | A-4   | 8,0 | ML    | LG' | 1,70 | 1,14 |
| 30% ADF   | 46        | 9         | 45        | A-4   | 3,7 | ML    | LG' | 1,65 | 1,13 |
| 40% ADF   | 42        | 6         | 52        | A-4   | 2,5 | SC    | LG' | 1,55 | 1,05 |
| 50% ADF   | 36        | 2         | 62        | A-4   | 0,8 | SC    | LA' | 1,40 | 0,97 |
| 60% ADF   | 26        | 4         | 70        | A-2-4 | 0   | SM-SC | LA' | 1,23 | 0,97 |
| 70% ADF   | 22        | 3         | 75        | A-2-4 | 0   | SM-SC | LA' | 1,15 | 1,10 |
| 80% ADF   | 16        | 2         | 82        | A-2-4 | 0   | SM    | LA' | 1,00 | 1,11 |

A classificação da amostra do solo, considerando a textura, foi como argila areno-siltosa. Para as classificações HRB e USCS o solo foi considerado como siltoso e MCT como argiloso. Para as misturas, a partir do teor de 50% de ADF, obteve-se um material arenoso. Em relação à classificação HRB, a partir da incorpora-

ção de 60% de ADF, as misturas passaram a ter características de solos granulares com classificação A-2-4. Considerando a MCT, a partir da adição de 50%, as misturas passaram do comportamento laterítico argiloso (LG') para laterítico arenoso (LA') conforme Figura 2.

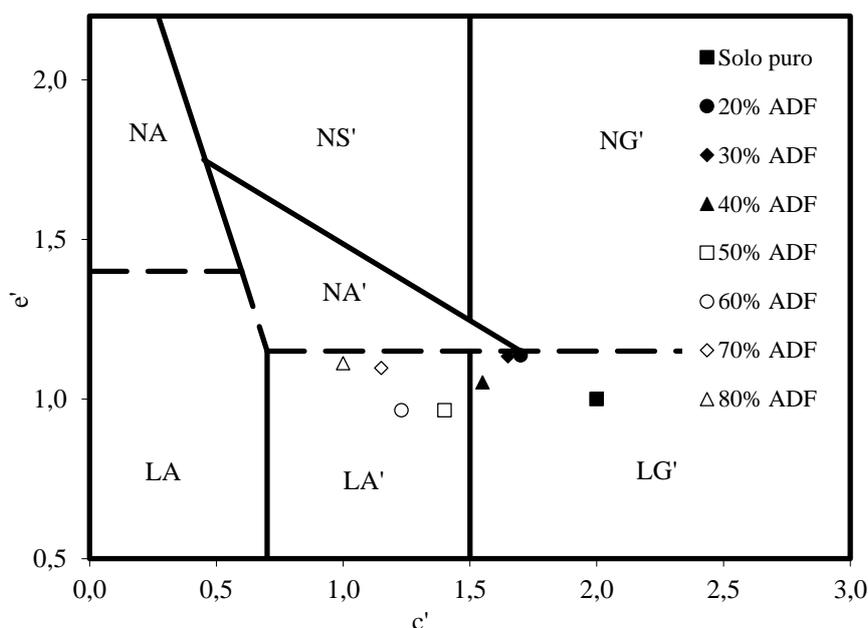


Figura 2 - Variação da classificação MCT

Segundo a classificação unificada (USCS), as misturas com teores de ADF até 30%

foram classificadas como siltes de baixa plasticidade (ML). A partir do teor de 40% a classifi-

cação passou para areia (S), sendo classificadas entre areia siltosa e areia argilosa para os teores de 60 e 70% (SM-SC). A amostra de ADF e o teor de 80% de substituição foram classificados como areia siltosa (SM). Esses resultados foram coerentes aos obtidos por Teixeira *et al.* (2012), Klinsky e Fabbri (2009) e Klinsky, Furlan e Fabbri (2012).

Pode-se observar que os métodos utilizados para classificação de materiais de pavimentação são contraditórios, pois conforme a textura apresentada no ensaio de granulometria con-

junta, o solo foi classificado como argiloso, já nos métodos HRB e USCS foi siltoso. Estes dois últimos originados e adotados em climas temperados e adaptados para os solos tropicais do Brasil, justificando classificações muitas vezes errôneas. Portanto, sempre quando possível, deve-se adotar o método MCT para classificar solos tropicais.

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos no ensaio de compactação na energia intermediária para a amostra de solo e misturas de solo+ADF.

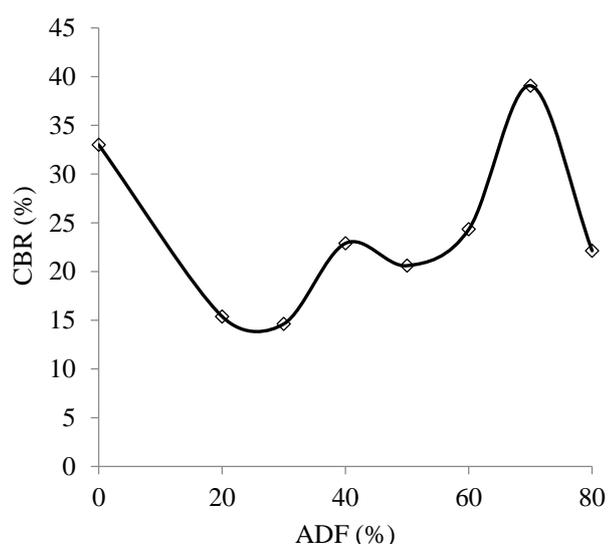
**Tabela 3** - Valores de massa específica aparente seca máxima e umidade ótima da amostra de solo e misturas de solo+ADF estudadas

| Material  | $\rho_{dmax}$ (g/cm <sup>3</sup> ) | W <sub>o</sub> (%) |
|-----------|------------------------------------|--------------------|
| Solo Puro | 1,665                              | 21,9               |
| 20% ADF   | 1,735                              | 19,6               |
| 30% ADF   | 1,810                              | 17,7               |
| 40% ADF   | 1,865                              | 14,9               |
| 50% ADF   | 1,935                              | 13,8               |
| 60% ADF   | 1,975                              | 12,4               |
| 70% ADF   | 1,980                              | 10,4               |
| 80% ADF   | 1,892                              | 7,7                |

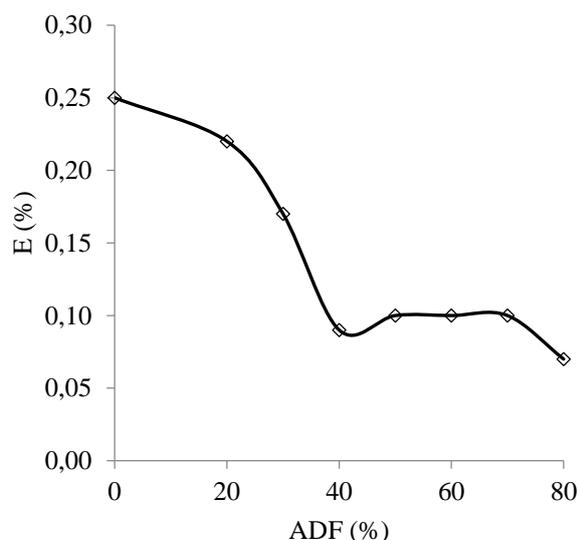
Observa-se que houve a redução da umidade ótima ( $w_o$ ) e o aumento da massa específica aparente seca máxima ( $\rho_{dmax}$ ) com o aumento do teor de ADF até 70%. Já a mistura com 80% de ADF não apresentou condições favoráveis de compactação durante os ensaios devido à redução das frações de argila e silte (finos) e uniformidade das partículas (70% de material granular). A diminuição da fração argila provo-

cou uma redução da coesão com o aumento do teor de ADF e, conseqüentemente, reduziu a umidade ótima e o índice de plasticidade. Isto justifica os resultados apresentados nos ensaios de plasticidade e de compactação.

As Figuras 3 e 4 apresentam a variação do índice de CBR em função do teor de ADF e a expansão do solo em função do teor de ADF, respectivamente.



**Figura 3** - Variação do CBR em função do teor de ADF



**Figura 4** - Variação de Expansão (E) em função do teor de ADF

Os valores de CBR diminuíram em relação ao solo puro nos teores de 20 a 60%. Já para o teor de 70% de ADF, obteve-se o CBR maior que a referência (solo puro). Portanto, obteve-se o objetivo deste trabalho, melhorar as características da amostra de solo estudada para aplicação em sub-bases de pavimentos. Entretanto, se aplicado o método mecanístico, com ensaios de compressão triaxial cíclicos para determinar o módulo de resiliência (MR), pode-se obter melhores resultados com a adição de cal nas misturas. Klinsky, Furlan e Fabbri (2012) realizaram este ensaio em misturas de solo+ADF+cal e obtiveram resultados satisfatórios para aplicação na base com teor de 40% após 28 dias de cura (3.113 MPa). Mas, como o objetivo principal é utilizar o maior volume possível de ADF, utilizar 70% para sub-base é mais sustentável do que 40% para base.

Considerando os resultados obtidos para o ensaio de CBR, realizaram-se ensaios de permeabilidade e ambientais para a mistura com 70% de ADF e amostra de solo (referência). Os valo-

res obtidos para os coeficientes de permeabilidade (K) à carga variável foram de  $2,03 \times 10^{-6}$  cm/s e  $2,58 \times 10^{-6}$  cm/s para a amostra de solo e mistura de solo+70% de ADF, respectivamente. Portanto, a adição de 70% de ADF não alterou a permeabilidade da amostra de solo estudada, podendo ser utilizada em pavimentos sem prejuízos técnicos. Isto pode ser justificado devido à presença de bentonita na composição da ADF, o que dificulta a percolação da água no solo (Klinsky e Fabbri, 2009). Segundo Solmaz *et al.* (2008), a adição de ADF pode melhorar materiais utilizados em pavimentos, diminuindo a penetração de água nas camadas granulares e aumentando a vida útil de um pavimento.

Quanto ao ensaio de caracterização ambiental (NBR 10004, ABNT 2004), a amostra de ADF e a mistura de solo+70% de ADF foram classificadas como resíduo não perigoso e não inerte – Classe II A. A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos no ensaio de solubilização segundo a NBR 10004 (ABNT 2004).

**Tabela 4** - Resultados do Ensaio de Solubilização na amostra ADF e solo+ADF 70% (NBR 1004, ABNT 2004)

| Parâmetros              | Un.  | LQ*   | Resultados ADF | Resultados Solo+ADF 70% | VMP** NBR 10004:2004 |
|-------------------------|------|-------|----------------|-------------------------|----------------------|
| Alumínio                | mg/L | 0,01  | 0,499          | 1,1                     | 0,2                  |
| Ferro                   | mg/L | 0,01  | 0,270          | 0,927                   | 0,3                  |
| Índice de Fenóis        | mg/L | 0,005 | 0,17           | 0,065                   | 0,01                 |
| Surfactantes (como LAS) | mg/L | 0,1   | 0,17           | 0,52                    | 0,5                  |

LQ\*: LQ = Limite de Quantificação da Amostra (LQ = LQM × fator de preparo da amostra × correção base seca, quando aplicável); LQM = Limite de Quantificação do Método; VMP\*\*: Valores Máximos Permitidos pela Norma ABNT NBR 10004:2004; Un. = Unidade; Qtd. = Quantidade.

Quanto aos parâmetros de massa bruta e extrato lixiviado, os resultados obtidos foram satisfatórios em relação aos limites permitidos pela norma de classificação. Em relação ao extrato solubilizado, em ambas as amostras (ADF e solo+70% de ADF), a quantidade de Alumínio (Al) e o índice de fenóis ultrapassaram os limites permitidos pela referida norma, enquanto que os componentes Ferro (Fe) e Surfactantes (como LAS) ultrapassaram os valores permitidos pela norma apenas na mistura de solo+70% de ADF. Já eram esperados maiores teores de alumínio (Al) e ferro na mistura de solo+70% em relação à ADF pura, pois estes metais são encontrados em solos argilosos, material utilizado nesta pesquisa.

As propriedades tensoativas e detergentes do surfactante encontrado na mistura não inviabilizam o uso do resíduo ADF para pavimentos, pois o mesmo exerce efeito tóxico quando em

ecossistemas aquáticos (CETESB, 2013). Ainda, com relação ao índice de fenóis, pode-se concluir que, embora se apresente acima do limite estabelecido em norma, a amostra com incorporação de 70% de ADF teve redução considerável de fenol em relação à amostra de ADF. Coutinho Neto (2004) e Bittencourt (2012) submeteram amostras de ADF ao mesmo bioensaio, também verificando concentrações superiores de fenóis, fluoretos, alumínio, cloretos e ferro quanto aos limites máximos permitidos.

Após a leitura dos resultados pelo *software* Microtox Omni® (Azur Environmental, 1999) verificou-se que do total de nove concentrações diferentes do extrato de ADF, somente a partir da sétima diluição (concentração de 11,66%) houve a redução em 50% da emissão de luz pela bactéria *Vibrio fischeri*, enquanto que para a mistura solo+ADF 70% apenas uma diluição (concentração de 49,41%) sensibilizou

a redução de luz acima do valor máximo permitido. Soares *et al.* (2010) e Zhang *et al.* (2013) também realizaram esse método para determinar a toxicidade de amostras de ADF e encontraram mais resultados negativos do que positivos para este parâmetro.

## 4 CONCLUSÃO

O aumento do teor de ADF nas misturas alterou consideravelmente as características do solo (laterítico argiloso) a partir do teor de 60%, onde a mistura de solo+ADF passou a ser classificada como A-2-4 (HRB) e LA' pela classificação MCT. A incorporação de ADF ao solo laterítico argiloso mostrou-se viável no teor de 70% para utilização como sub-base de um pavimento flexível, considerando a viabilidade técnica (classificação e CBR) e os parâmetros ambientais (classificação ambiental e toxicidade). Para estudos posteriores deve-se realizar o dimensionamento de um pavimento conforme método mecanístico-empírico, aplicando-se a estabilização química para obter um melhor desempenho e determinar a durabilidade do material em um pavimento.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio institucional da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pela concessão da bolsa de mestrado por Processo de nº 2013/03877-0. Prestam-se agradecimentos ainda, à Universidade Estadual de Campinas – Unicamp e à empresa Femaq – Fundação e Engenharia e Máquinas Ltda. por fornecer a amostra de ADF utilizada nesta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- ABIFA (2012) *Associação Brasileira de Fundição*. Disponível em: <<http://www.abifa.com.br>>. (Acesso em 03/09/2013).
- ABNT (1984a) *NBR 6508 – Grãos de Solos que passam pela Peneira de 4,8mm. Determinação da massa específica*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (1984b) *NBR 7181 – Solo – Análise Granulométrica*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (1984c) *NBR 6459 – Solo – Determinação do Limite de Liquidez*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (1984d) *NBR 7180 – Solo – Determinação do Limite de Plasticidade*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (1986a) *NBR 6457 – Amostras de solo – Preparação para Ensaio de Compactação e Ensaio de Caracterização*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (1986b) *NBR 7182 – Solo – Ensaio de Compactação*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (1987) *NBR 9895 – Solo – Índice de Suporte Califórnia*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (1995) *NBR 13292 – Solo – Determinação do Coeficiente de Permeabilidade de Solos Granulares à Carga Constante*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (2004) *NBR 10004 – Resíduos Sólidos – Classificação*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (2009) *NBR 15702 - Areias descartadas de fundição – Aplicações em Asfalto e em Aterro Sanitário*. Rio de Janeiro.
- ABNT (2011) *NBR 15984 – Areia Descartada de Fundição – Central de Processamento, Armazenamento e Destinação (CPAD)*. Rio de Janeiro.
- ABNT (2013) *NBR 59:001.01-003 – Areia Descartada de Fundição – Diretrizes para Aplicações Geotécnicas Confinadas e Construção Civil*. Rio de Janeiro. (sob consulta pública nacional).
- AFS (1991) American Foundry Society. *Alternative Utilization of Foundry Sand Waste*. Final Report (Phase I) Prepared by American Foundry Men's Society Inc. for Illinois Department of Commerce and Community Affairs, Des Plaines, Illinois.
- AFS (2004) American Foundry Society. *Foundry Sand Facts for Civil Engineers*. Report n. FHWA-IF-04-004. Prepared by American Foundry Men's Society Inc. for Federal Highway Administration Environmental Protection Agency Washington, DC, USA, 80 p.
- AFS (2013) American Foundry Society. *Introduction to Foundry Sand*. Disponível em: <[www.afsinc.org/government/AFSFirst.cfm?ItemNumber=7887&navItemNumber=528](http://www.afsinc.org/government/AFSFirst.cfm?ItemNumber=7887&navItemNumber=528)>. (Acesso em: 22/08/2013).
- Azur Environmental (1999) *Microtox Omni® Software*. CD-ROM.
- Bakis, R., Koyuncu, H. e Demirbas, A. (2006) An Investigation of Waste Foundry Sand in Asphalt Concrete Mixtures. *Waste Management & Research*. v. 24, n. 3, p. 269-274. DOI: 10.1177/0734242X06064822.
- Bittencourt, S. F. (2012) *Avaliação da Resistência à Compressão de Pavimentos Produzidos com Agregados de Resíduos de Construção e Demolição e Areia de Fundição*. Dissertação de mestrado. Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.
- CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2001) *Norma Técnica L5.227 - Teste de toxicidade com a bactéria luminescente Vibrio fischeri: método de ensaio*. São Paulo.
- CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2007) *Decisão da Diretoria nº 152/2007/C/E – Procedimentos para gerenciamento de areia de fundição*. São Paulo.
- CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2013) *Variáveis de Qualidade das Águas*. Disponível em: <[www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/34-variaveis-de-qualidade-das-aguas---old#surfactantes](http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/34-variaveis-de-qualidade-das-aguas---old#surfactantes)>. (Acesso em 14/08/2013).

- CONSEMA. Conselho Estadual do Meio Ambiente (2008) *Resolução nº 011 – Estabelece Critérios para a Utilização de Areia Descartada de Fundição (ADF) de Materiais Ferrosos na Produção de Concretos Asfálticos e Artefatos de Concreto sem Função Estrutural*. Santa Catarina.
- Coutinho Neto, B. (2004) *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.
- Clean Washington Center (1996) *Beneficial Reuse of Spent Foundry Sand*. Washington, DC.
- DNER (1994a) Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – ME 258/94 – *Solos Compactados em Equipamento Miniatura – Mini-Mcv*. Brasília, DF.
- DNER (1994b) Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – ME 256/94 – *Solos Compactados em Equipamento Miniatura – Determinação da Perda de Massa por Imersão*. Brasília, DF.
- DNER (2005) Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – ES-P 07/05 – *Pavimentação: Camadas Estabilizadas Granulometricamente*. Paraná, PR.
- Guney, Y., Aydilek, A. H. e Demirkan, M. M. (2006) Geoenvironmental Behavior of Foundry Sand Amended Mixtures for Highway Subbases. *Waste Management*, v. 26, n. 9, p. 932-945. DOI: doi:10.1016/j.wasman.2005.06.007
- Lucena, L. C. F. L., Juca, J. F. T., Soares, J. B. e Portela, M. G. (2013) Potencial uses of Sewage Sludge in Highway Construction. *Journal of Materials in Civil Engineering*. Setembro, 2013.
- Klinsky, L. M. G. (2013) *Avaliação do Reaproveitamento de Areia Descartada de Fundição Residual em Camadas de Pavimentos*. Tese de Doutorado. Pós-Graduação em Engenharia de Transportes. Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo - USP, São Carlos, SP.
- Klinsky, L. M. G., Furlan, A. P. e Fabbri, G. T. P. (2012) Efeito da Adição de Areia de Fundição e Cal em algumas Propriedades de Solos Argilosos. *Revista Transportes*, v. 20, n. 1, p. 22-30. DOI: <http://dx.doi.org/10.4237/transportes.v20i1.577>.
- Klinsky, L. M. G. e Fabbri, G. T. P. (2009) Reaproveitamento da Areia de Fundição como Material de Base e Sub-base de Pavimentos Flexíveis. *Revista Transportes*, v.17, n. 2, p. 36-45. DOI: <http://dx.doi.org/10.4237/transportes.v20i4.614>.
- Mgangira, M. B. (2006) Laboratory Assessment of the Influence of the Proportion of Waste Foundry Sand on the Geotechnical Engineering Properties of Clayey Soils. *Journal of the South African Institution of Civil Engineering*, v. 49, n.1, p. 2-7.
- Santos, J. (2004) *Estabilização de uma argila laterítica do Distrito Federal para uso em rodovias de baixo volume de tráfego*. Dissertação (mestrado em Construção Civil). Universidade de Brasília, Brasília, 109 p.
- Senço, W. (2001) *Manual de técnicas de pavimentação*, v. 2. São Paulo: Pini, 671 p.
- Soares, W. A. A., Ferraresi, G. N., Quináglia, G. A. e Umbuzeiro, G. A. (2010) Toxicidade do Resíduo Areia de Fundição Utilizando o Teste com a Bactéria Luminescente *Vibrio fischeri*. *Revista Brasileira de Toxicologia*, v. 23, n. 1- 2, p. 17-21.
- Solmaz, P., Gedik, A. G., Lav, M. A. e Lav, A. H. (2008) Utilization of Waste Foundry Sand (WFS) as Impermeable Layer (Drainage Blanket) for Pavement Structures. *Advances in Transportation Geotechnics - Proceedings of the 1st International Conference on Transportation Geotechnics*, cap. 34, p. 263-268. DOI: 10.1201/9780203885949.ch34.
- Strategic Diagnostics Incorporations – SDI (2004) *Microtox® Toxicity Test*. USA.
- Teixeira, I., Takeda, M. C., Ferreira, G. C. S. e Paiva, C. E. L. (2012) Estabilização Granulométrica de um Solo Laterítico Argiloso através da Incorporação de Areia Descartada de Fundição – ADF. In: *XXVI Congresso Nacional de Ensino e Pesquisa em Transportes, ANPET*, 28 de out. a 01 de nov., Joinville, SC, 11 p.
- Transfer & Landfill Operations (2012) *Vancouver Landfill Annual Report*. Vancouver, Canada.
- Zhang, H. F., Wang, Y. J., Wang, J. L., Huang, T. H. e Xiong, Y. (2013) Environmental Toxicity of Waste Foundry Sand. *Huanjing Kexue/Environmental Science*, v. 34, n. 3, p. 1174-1180.