

III-234 - ESTUDO DE VIABILIDADE DO REUSO BENÉFICO DO RESÍDUO DE AREIA DE FUNDIÇÃO EM CAMADAS DE PAVIMENTO

Vivian Silveira dos Santos Bardini⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Doutora e mestre em Transportes pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Professora no Instituto de Ciência e Tecnologia (ICT/UNESP) do Departamento de Engenharia Ambiental.

Fabiana Alves Fiori Pinto⁽²⁾

Graduada em Engenharia Civil (UFMG); Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (UFMG); Doutora em Saneamento e Meio Ambiente (FEC/UNICAMP). Professora e Pesquisadora do Instituto de Ciência e Tecnologia da UNESP/SJC.

Luis Miguel Gutiérrez Klinsky⁽³⁾

Engenheiro Civil pela Universidad Privada de Santa Cruz de la Sierra - Bolívia. Doutor e mestre em Transportes pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Pesquisador no Centro de Pesquisas Rodoviárias (CPR-CCR).

Guilherme Cardoso de Barros Fornari⁽⁴⁾

Graduando do curso de Engenharia Ambiental no Instituto de Ciência e Tecnologia (ICT/UNESP), bolsista FAPESP.

Endereço⁽¹⁾: Rodovia Presidente Dutra, Km 137,8 - Eugênio de Melo - São José dos Campos/SP - CEP 12247-004. Telefone: (12) 3947-9700- e-mail: vivian.bardini@unesp.br

RESUMO

O setor de fundição é um grande indicador do crescimento da indústria de um país, pois é básico à maioria das cadeias produtivas. Segundo a ABIFA, no mês de dezembro de 2015 a produção de fundidos no Brasil foi de 112.984 toneladas, gerando aproximadamente 101.686 toneladas de Areia de Fundição Residual (AFR) no período considerado. Devido à grande geração deste resíduo, diversas instituições brasileiras e mundiais desenvolvem projetos com o objetivo de ampliar as vertentes de reaproveitamento da AFR. O objetivo desse trabalho foi avaliar a viabilidade da utilização de AFR na construção de camadas de base e sub-bases de pavimentos vicinais, em conjunto com solo e cal hidratada. As amostras foram submetidas aos ensaios de limites de consistência, granulometria, compactação e ensaio de Índice de Suporte Califórnia. Os resultados mostram que com a adição de 25 e 50% de AFR a previsão de comportamento das misturas é de excelente a bom, já a adição de cal hidratada permite sua utilização como sub base e base, e o incremento de areia de fundição residual aumenta ainda mais a capacidade de suporte, de até 60% e 75%, para 25 e 50% de AFR.

PALAVRAS CHAVE: Areia de fundição residual, reaproveitamento de resíduos, pavimentos.

INTRODUÇÃO

A sociedade atual produz grandes volumes de resíduos sólidos, dentre eles os industriais. O aumento contínuo, em quantidade e diversidade, desses resíduos determina a busca pela viabilidade de estratégias para recuperar e reciclar esses materiais, uma vez que a disposição em aterros é limitada e produz significativos impactos ambientais. Em contraposição à geração de resíduos sólidos, as atividades de construção de rodovias requerem grandes volumes de materiais agregados que, em geral são extraídos de ambientes naturais, também com elevados impactos aos meios físico, biótico e socioeconômico (JULIEN et al., 2010).

Dentre os resíduos industriais estão os resíduos dos processos de fundição. De acordo com McIntyre et al. (1992), a produção de uma tonelada de metal fundido gera aproximadamente uma tonelada de resíduos. Dados da Associação Brasileira de Fundição (ABIFA) indica que 3,3 milhões de toneladas de metal fundido foi produzido no Brasil em 2011. Portanto, apenas em 2012, a indústria de fundição no Brasil gerou aproximadamente 3 milhões de toneladas de areia de fundição residual (AFR).

No Brasil, quanto à periculosidade esses resíduos são classificados como não perigosos e não inertes, por meio da NBR 10.004 (ABNT, 2004). A legislação também determina que esses resíduos sejam depositados em aterros industriais controlados ou incinerados. Em vista disso é possível verificar que as soluções determinadas pelo requisito legal não garantem a minimização do impacto e risco associado a esses resíduos, uma vez que esses, em geral, estão contaminados por vários elementos químicos perigosos, como metais pesados (arsênico, cádmio, chumbo e mercúrio) e compostos orgânicos como os fenóis (KLINSKY, 2008).

Pesquisas recentes demonstraram que em usos benéficos, as AFR da fundição podem ter o seu potencial de contaminação minimizado (DENG, 2009; DUNGAN e DEES 2009; MIGUEL et al. 2012). Dentre as aplicações benéficas estudadas estão a utilização da AFR como sub-base de rodovias e aterros ou para fabricar pedras de pavimentação, concreto asfáltico, cimento, flowable fill e solos (PARTRIDGE et al. 1999; U.S. DOT, 2004; LINDSAY e LOGAN, 2005).

Em 2007, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), no Estado de São Paulo, publicou a Decisão de Diretoria No 152/2007/C/E que dispõe sobre os procedimentos para gerenciamento de areia de fundição residual. Nesse documento são estabelecidos as características e parâmetros necessários para que o resíduo possa ser utilizado na fabricação de artefatos de concreto de cimento Portland, ou para compor massas de Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ).

Em 2009, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) concluiu a redação da norma ABNT NBR 15702: “Areia descartada de fundição – Diretrizes para aplicação em asfalto e em aterro sanitário”. Nessa norma são estabelecidas as diretrizes para aplicação do resíduo como matéria prima em concreto asfáltico e cobertura diária de aterro sanitário. Atualmente, a ABNT está desenvolvendo uma norma com as diretrizes necessárias para empregar a areia de fundição residual em aplicações geotécnicas confinadas e de construção civil.

Pode-se constatar que as normas recentemente redigidas pelos órgãos brasileiros incentivam o reaproveitamento da areia de fundição residual em atividades ligadas à construção de estradas, entre outras. Efetivamente, diversas pesquisas (JAVED e LOVELL, 1994; PARTRIDGE e ALLEMAN 1998; MAST, 1998; KLINSKY, 2008) mostraram que este resíduo poderia ser empregado em grandes quantidades nas atividades de construção das diferentes camadas estruturais do pavimento, sem risco de contaminar o meio ambiente.

A presente pesquisa foi desenvolvida em parceria com instituição responsável por uma unidade de disposição final de resíduos sólidos industriais localizada no município de São José dos Campos, com o objetivo de verificar o potencial de reaproveitamento de resíduos dispostos em células de aterramento específicas contendo AFR.

OBJETIVOS

O objetivo desse estudo foi avaliar técnica do reuso da mistura da areia de fundição para camadas de base e sub-base de rodovias de baixo volume de tráfego, em associação com solos e estabilizantes.

Para alcançar o objetivo foram avaliadas as propriedades mecânicas de interesse para a engenharia rodoviária de misturas do tipo solo areia e solo areia cal, com a incorporação de areia de fundição residual;

MATERIAIS E MÉTODOS

A AFR utilizada nesta pesquisa foi fornecida pela empresa Essencis, que é uma empresa especializada em Gestão Ambiental Integrada de resíduos industriais e tratamento e destinação final de resíduos. A AFR foi coletada de uma célula do aterro industrial da unidade da empresa no município de São José dos Campos.

A cal utilizada neste trabalho foi cal hidratada do tipo CH-I, que segundo o INMETRO (2004), entre os tipos de cal hidratada CH-I, CH-II e CH-III, o primeiro tipo é considerado como o mais puro, motivo pelo qual foi utilizado nesta pesquisa.

O solo e a areia de fundição residual, ambos na umidade natural, foram misturados em laboratório até homogeneização do material nas proporções adequadas para a realização dos ensaios mecânicos. A cal hidratada foi adicionada nas misturas de solo e areia de fundição residual já preparadas na umidade natural, de acordo com a recomendação do DER (2006).

A análise granulométrica dos materiais naturais e das misturas foi realizada de acordo com as recomendações do método de ensaio DNER – ME 51 (1994). Os Limites de Attenberg, limite de liquidez (LL), limite de plasticidade (LP) foram determinados conforme os métodos de ensaio DER ME 122 (1994) e DER ME 082 (1994). O índice de plasticidade (IP) foi calculado a partir dos resultados obtidos nos ensaios de LL e LP.

Os resultados de distribuição granulométrica e limites de consistência permitiram realizar a classificação das misturas segundo as metodologias do USCS (Unified Soil Classification System, ASTM D 2487-06) e da American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO M 145).

O ensaio de Índice de Suporte Califórnia (California Bearing Ratio - CBR) foi realizado de acordo com as recomendações da norma DNER-ME 49 (1994). Os corpos de prova utilizados neste ensaio foram moldados nas condições de umidade ótima e massa específica seca máxima, obtidas no ensaio de compactação na energia intermediária. O ensaio de compactação foi realizado a partir da metodologia NBR 7182 (ABNT, 1986).

RESULTADOS

A Figura 1 apresenta a curva granulométrica das amostras 100% solo, 75% solo + 25% AFR e 50% solo + 50% AFR. Verifica-se uma notória redução dos finos dos solos (0,074 mm), atribuído à incorporação da areia de fundição residual.

A Tabela 1 apresenta os valores dos limites de consistência para as todas as amostras. Verifica-se um decréscimo do LL e do IP com o aumento da proporção de AFR, caracterizando uma composição não plástica quando se atinge o máximo de resíduo considerado no estudo.

Nota-se, de maneira geral, que a adição de maiores teores de AFR reduz o LL e o IP dos solos, porém aumentou o LP. Apesar dos resultados concordarem com o relatado por diversos autores, as reduções de LL e IP não foram tão expressivas.

As alterações ocorridas estão de acordo com o esperado, segundo CPR (2014), sendo importante mencionar que as mudanças na plasticidade do material estabilizado podem variar de acordo com o tipo de solo, tipo e teor de cal utilizada e o tempo de cura da mistura.

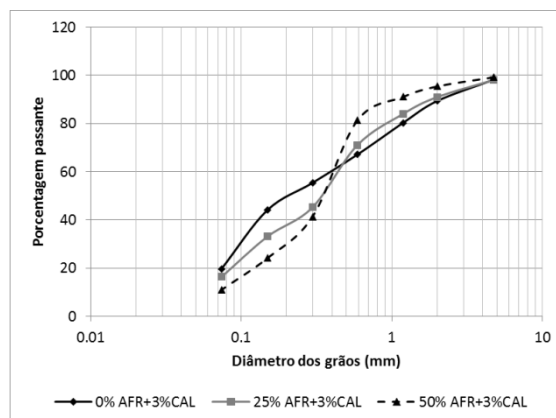


Figura 1: Distribuição Granulométrica das amostras.

Tabela 1: Limites de Consistência das amostras

AFR (%)	Cal Hidratada (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)
0	0	42	17	25
25		31	23	8
50		21	NP	NP
0	3	42	19	23
25		30	23	7
50		20	NP	NP

A partir dos resultados da distribuição granulométrica e limites de consistência, é possível realizar as classificações das misturas solo AFR, de acordo com as metodologias USCS e AASHTO, mostradas na Tabela 2.

Tabela 2: Classificações das misturas solo areia

AFR (%)	Classificação USCS	Classificação AASHTO
0	SC	A-2-7
25	SC	A-2-4
50	SM	A-2-4

Analisando a Tabela 2 é possível perceber que a adição de AFR alterou a amostra de areia argilosa para areia siltosa apenas na classificação USCS quando a proporção de solo para areia residual é de 50% de cada em peso, já na metodologia AASHTO as três amostras apresentam predominância de areia e areia siltosa ou argilosa.

Com relação às amostras classificadas como SC, essas apresentam baixa possibilidade de uso em pavimentação, a amostra SM apresenta características razoáveis a boas, de acordo com a USCS. Já a partir da metodologia AASHTO, todas as amostras apresentam comportamento bom a excelente para pavimentação. Especificamente a classe A-2-4 é considerada ideal para camadas finais de terraplenagem (CFT), para reforço de subleito e para bases e sub-bases de pavimentos com tráfego de leve a médio.

Os resultados do ensaio de CBR e expansão após 96 horas de imersão são apresentados nas Figuras 2 e 3, respectivamente. Nota-se, que as amostras compostas apenas por solo e AFR, sem a cal hidratada, apresentam valores de CBR praticamente inalterados até o acréscimo de 25% de AFR, mas com 50% de AFR percebe-se uma elevação do CBR significativa.

Em relação às amostras com a presença de cal hidratada, observam-se valores de CBR bem superiores em comparação com as amostras sem o aditivo, como também o ganho de índice de suporte significativo com o incremento de AFR.

Pode-se perceber que o incremento de AFR reduz de maneira significativa a expansão dos corpos de prova, mas as amostras sem adição de cal hidratada permanecem com expansão acima de 1%, impossibilitando sua utilização como material para base de pavimentos com tráfego leve ($N \leq 5 \times 10^6$ solicitações de eixo padrão). Já as amostras contendo 3% de cal hidratada apresentam valores de expansão menores que 1% e percebe-se que a expansão tende a zero com altos teores de AFR, mas apenas a amostra com 3% de cal hidratada e 50% de AFR poderia ser utilizada como material para base de pavimentos com tráfego leve, por apresentar um $CBR \geq 60\%$ e expansão $\leq 0,5\%$, segundo (DNIT, 2006).

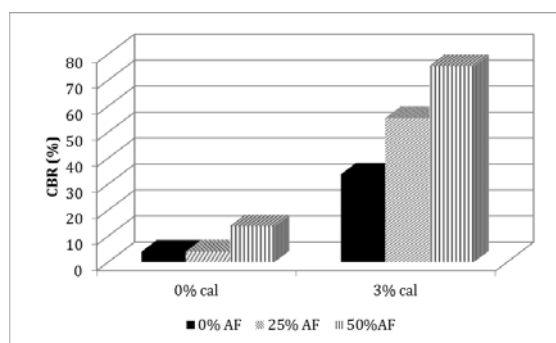


Figura 2: Variação do CBR de todas as amostras em função do teor de AFR

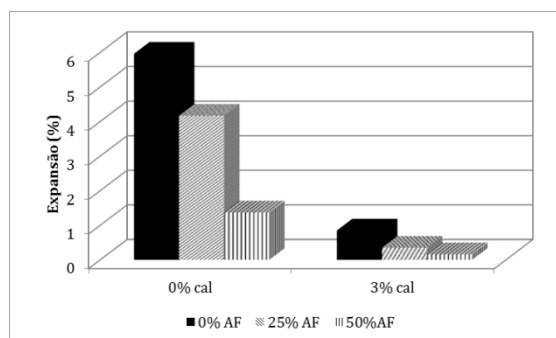


Figura 3: Variação da Expansão de todas as amostras em função do teor de AFR

CONCLUSÕES

Nesta pesquisa foi atestada a viabilidade da utilização de AFR para construção de camadas de base e sub-base de pavimentos de baixo fluxo de tráfego. Adaptando o dimensionamento realizado por Klinsky (2013), considerando uma mistura com 50% de AFR para construção de uma camada de pavimento de 30 cm de espessura e 7,30 metros de largura, seriam utilizadas cerca de 2.175 toneladas de AFR por quilômetro de rodovia construída.

O reaproveitamento da AFR nessas quantidades permitiria reduzir e até eliminar a necessidade das siderúrgicas utilizarem aterros sanitários de descarte, o que representaria uma enorme economia para as empresas. Também poderiam ser evitadas eventuais multas pela disposição inadequada do resíduo. Por outro lado, o passivo da areia de fundição residual, acumulado por muitos anos, poderia também ser reduzido.

O reaproveitamento do resíduo nas camadas de pavimentos também implicaria a redução da exploração de recursos naturais, que poderiam ser conservados para outras atividades. Isso pode significar a redução dos custos da construção de estradas, se houver compromisso por parte das siderúrgicas em fornecer gratuitamente o resíduo ou disponibilizá-lo no local da obra. Ainda deve ser considerado que seriam reduzidas as emissões de gases tóxicos, como por exemplo, o monóxido de carbono (CO), produzidos pelos equipamentos utilizados na extração de materiais virgens.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. JULLIEN A, FRANÇOIS D, LUMIÈRE L, DE LARRARD F, CHÂTEAU L. Alternative materials for roads. A national database to share knowledge. Road Mater Pavement Des;11:203–12, 2010.
2. DENG, A. Contaminants in waste foundry sand and its leachate. International Journal of Environmental Pollution, 38, 425–443, 2009.
3. DUNGAN, R. S.; DEES, N. H. The characterization of total and leachable metals in foundry molding sands. Journal of Environmental Management, 90, 539–548, 2009.

4. MIGUEL, R. E.; IPPOLITO, J.A.; LEYTEM, A. B.; PORTA, A.A.; NORIEGA, R. B. B.; DUNGAN, R. S. Analysis of total metals in waste molding and core sands from ferrous and non-ferrous foundries. *Journal of Environmental Management*, 110, 77– 81. 2012.
5. PARTRIDGE, B., FOX, P., ALLEMAN, J., MAST, D. Field demonstration of highway embankment construction using waste foundry sand. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 98–105. 1999.
6. LINDSAY, B. J.; LOGAN, T. J. Agricultural Reuse of Foundry Sand, *Journal of Residuals Science & Technology*, Vol. 2, No.1, 1-12 , School of Natural Resources, The Ohio State University, January 2005.
7. JAVED, S., LOWELL, C.W., & WOOD, L.E. Waste Foundry Sand in Asphalt Concrete, pp. 27–34. 1284 School of Civil Engineering, Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA, 1994.
8. PARTRIDGE, B. K.; ALLEMAN, J. E. Performance Evaluation of a Highway Embankment Constructed Using Waste Foundry Sand. Publication. 1998.
9. MAST, D. Field Demonstration of a Highway Embankment Using Waste Foundry Sand. Dissertação de Mestrado. Purdue University, West Lafayette, Indiana, 1998.
10. KLINSKY, L. M. G. Proposta de reaproveitamento de areia de fundição em sub-bases e bases de pavimentos flexíveis, através de sua incorporação a solos argilosos. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2008.
11. KLINSKY, L.M.G. Avaliação do reaproveitamento de areia de fundição residual em camadas de pavimentos. São Carlos, SP. : Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, 2013.
12. CPR, Centro de Pesquisas Rodoviárias. Estudo do Comportamento Mecânico de Solos Estabilizados com Cal Hidratada. s.l. : Concessionária NovaDutra, 2014.