

ESTUDO DA LIXIVIAÇÃO EM PEÇAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO (PCP) PRODUZIDAS COM AREIA DE FUNDIÇÃO

CECÍLIA OGLIARI SCHAEFER¹; JERÔNIMO L. FINK²; DÉBORA DE R. ZOLET^{3*}; PATRÍCIA F. S. COSTÓDIO⁴

¹Professora doutora, Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar, Universidade do Vale do Itajaí

²Acadêmico de Engenharia Civil, Universidade do Vale do Itajaí

³Bolsista de Iniciação Científica, Acadêmica de Engenharia Civil, Universidade do Vale do Itajaí

⁴Professora mestre, Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar, Universidade do Vale do Itajaí
Rua Uruguai, 485 - Centro, Itajaí-SC CEP 88302-901

Apresentado no

Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2016
29 de agosto a 2 de setembro de 2016 – Foz do Iguaçu, Brasil

RESUMO: O reaproveitamento da areia de fundição (AF) em materiais de construção é uma alternativa sustentável que permite redução da extração de matérias primas, minimização do total de areia residual destinada aos aterros e redução dos custos de seu manejo. Neste contexto, o presente estudo tem por objetivo a utilização da AF em substituição parcial ao agregado miúdo natural na produção de peças de concreto para pavimentação (PCP). Por tratar-se de um resíduo industrial, executou-se inicialmente a caracterização da AF por meio de ensaios de lixiviação, solubilização, toxicidade aguda e teste com bactérias bioluminescentes *Vibrio Fischeri*. As PCPs produzidas com AF foram analisadas tecnicamente segundo a NBR 9.781:2013. A fim de verificar a liberação de contaminantes a partir das PCP produzidas com AF executou-se ensaio de tanque conforme a EA NEN 7.375:2004 – Leaching characteristics of moulded or monolithic Building and waste materials. Os ensaios de toxicidade aguda e com as bactérias *Vibrio Fischeri*, permitiram o classificar como não tóxico. Contudo, a partir dos resultados de lixiviação e solubilização estabeleceu-se a classificação em resíduo perigoso, devido o excesso de chumbo, e não inerte. O desempenho das PCP foi satisfatório, atendendo os requisitos normativos. Com o ensaio de tanque não se verificou a liberação de contaminantes em concentração superior aos padrões estabelecidos na NBR 10.004:2004. Os resultados permitem concluir que é viável o reaproveitamento da areia de fundição em PCP tanto sob o aspecto técnico quanto ambiental.

PALAVRAS-CHAVE: Areia de fundição, Peças de Concreto para Pavimentação, Lixiviação, Toxicidade, Ensaio de Tanque.

STUDY OF LEACHING IN CONCRETE PAVING PRODUCED WITH FOUNDRY SAND

ABSTRACT: The reuse of foundry sand (FS) in building materials is a sustainable alternative that allows reduction of the extraction of raw materials, minimizing the total waste destined for landfills and reduce the management costs of sand. In this context, this study goals to use FS substituting natural fine aggregate in the production of concrete paving (CP). Because it is an industrial waste, it was firstly performed the characterization of the FS through leaching tests, solubilization, acute toxicity and test with *Vibrio Fischeri* bacteria. The CP produced with FS were analyzed technically according to NBR 9.781: 2013. In order to check the release of contaminants from CP produced with FS tank leaching test was conducted according to NEN 7.375: 2004 - Leaching Characteristics of Building and monolithic molded or waste materials. Acute toxicity tests and *Vibrio Fischeri* bacteria, allowed classifying the waste FS as nontoxic. However, from the results of leaching and solubilization established the FS classification as hazardous waste, because excess the metal lead, and not inert. The performance of CP was satisfactory, given the regulatory requirements. With the tank leaching test the concentration release of contaminants no exceeding the standards established in NBR 10.004:2004. The results show that the reuse of FS in concrete paving both from a technical as environmental aspect is feasible.

KEYWORDS: Foundry sand; Concrete Paving; Leaching; Toxicity; Tank test.

INTRODUÇÃO

A areia de fundição é um resíduo industrial gerado em quantidade expressiva, já que o total de peças fundidas produzidas em todo Brasil atinge aproximadamente 2,6 milhões de toneladas anuais (ABIFA, 2009). Dependendo do tipo de peça, de acordo com Dantas (2003), a relação entre a quantidade de metal e areia utilizada no processo varia de 0,8 a 1,0. Assim sendo, pode-se gerar um total de excedentes de areia de fundição de 2 a 2,6 milhões de toneladas por ano. O estado de Santa Catarina é responsável pela geração de 670 mil toneladas anuais (LOUZAS, 2013), cerca de 30% desse total.

No Brasil, cerca de 80% de toda produção de ligas fundidas é moldada em areia. Esta areia é utilizada como molde repetidas vezes, até perder suas propriedades físicas básicas, tornando-se então um subproduto chamado de areia de fundição (AF), que necessita de descarte em aterro específico e manejo adequado. Para o descarte deste material de forma a atender a legislação, fiscalizada com mais rigor há poucos anos, necessita-se de um alto investimento, acrescido ao preço do transporte, já que os aterros licenciados situam-se normalmente a uma grande distância da indústria. Com o representativo volume de material para ser transportado, tratando-se de um país que está entre os maiores produtores de peças fundidas do mundo, o frete alcança valores importantes, e as indústrias por sua vez, acabam muitas vezes negligenciando o manejo e descarte adequado (ARMANGE, 2005). Ainda que a indústria metalúrgica atenda as exigências, nem todos os aterros são bem projetados e executados, poluindo muitas vezes o solo e principalmente as águas superficiais e o subsolo (ROCCA et al, 1993 apud BORGES, 2008).

No Brasil, houve uma iniciativa em Santa Catarina com a aprovação, pelo Conselho Estadual de Meio Ambiente (Consema), em setembro de 2013, da utilização de areias de fundição como matéria-prima para obras como rodovias e redes de saneamento, e para produção de concreto asfáltico, artefatos de cimento, assentamento de tubulações e cerâmica vermelha. No estado prevê-se a utilização de aproximadamente 5,2 mil toneladas de areia de fundição por quilômetro em obras de rodovias, economizando cerca de R\$ 200 mil por quilômetro (LOUZAS, 2013).

Ainda, alguns estudos abordam a areia de fundição trazendo resultados animadores com a sua aplicação em materiais de construção civil, tais como argamassas (VARGAS et al., 2012), concretos convencionais (BORGES, 2008), concretos auto adensáveis (ROCHA et al., 2011), pavimentos de concreto (WATANABE, 2004), blocos de concreto (ZORRER e KARSCHIMARSKI, 2013 e SCHAEFER et al., 2014).

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a fabricação das Peças de Concreto para Pavimentação (PCP), foi utilizada uma vibroprensa hidráulica para moldar as peças, um misturador planetário de concreto para a mistura e um silo dotado de balança para pesar os agregados, esse conjunto de equipamentos é da marca Menegotti, modelo MBP 6,0.

Os materiais utilizados na produção das PCP foram o Cimento Portland CP-V ARI e aditivo plastificante densificador por promover a redução de água na mistura e elevar a plasticidade do concreto seco.

Os métodos executados no desenvolvimento da pesquisa foram divididos em duas etapas, consistindo em uma etapa inicial de caracterização química e de toxidade da areia de fundição, já que se trata de um resíduo industrial, e uma segunda fase de produção de peças de concreto para pavimentação (PCP) substituindo parcialmente a areia natural por areia de fundição com verificação de desempenho mecânico e de absorção, e ainda, de caracterização ambiental do produto com a execução de ensaio de tanque.

A lixiviação permite a determinação e avaliação da estabilidade química dos resíduos quando em contato com soluções aquosas que podem ser encontradas em um aterro, permitindo assim verificar o grau de imobilização dos contaminantes. O ensaio na areia de fundição foi conduzido segundo a NBR 10.005:2004. O procedimento de solubilização foi realizado conforme estabelecido na NBR 10.006 :2004 – Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos.

O princípio do ensaio Toxidade aguda – Ecotoxicologia aquática: Método de ensaio com *Daphnia ssp* (Crustacea, Cladocera) consiste na exposição de indivíduos jovens de *Daphnia Magna* por

um período de 24 a 48 horas a várias diluições da amostra de areia de fundição, após o qual é verificado seu efeito sobre a capacidade natatória dos microrganismos (mobilidade), realizados segundo a ABNT NBR 12.713:2002.

O sistema de teste com bactérias bioluminescentes *Vibrio Fischeri* – Legislação catarinense foi baseado na medição da luminescência emitida pelas bactérias *Vibrio Fischeri* após a exposição a uma amostra de areia de fundição por um período de 15 a 30 minutos. A intensidade da luz das bactérias expostas foi comparada com a de uma amostra de controle.

Os ensaios de absorção e de resistência a compressão das peças de concreto para pavimentação foram realizados a partir da NBR 9.781:2013.

O ensaio de tanque foi realizado de acordo com a EA NEN 7.375:2004 – Leaching characteristics of moulded or monolithic Building and waste materials. É um ensaio estático que permite avaliar em amostras monolíticas o processo de lixiviação contaminantes liberados ao longo do tempo em oito períodos distintos de renovação. As renovações do lixiviante foram realizadas em: 6 horas, 1 dia, 2 dias e 6 horas, 4, 9, 16, 36 e 64 dias. A amostra de cada um dos períodos foi filtrada por gravidade utilizando-se papel filtro de 28 µm. Como lixiviante, utilizou-se água destilada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No ensaio de lixiviação e os respectivos limites máximos para cada elemento estudado, comparando-os aos limites estabelecidos pela NBR 10.004:2004. Observa-se que o chumbo, dentre os elementos analisados, foi único que apresentou concentração superior ao limite máximo da norma. Este resultado permite classificar a areia de fundição como resíduo perigoso.

Diante dos resultados da concentração dos elementos solubilizados após o ensaio de solubilização, executado segundo a NBR 10.006:2004, classificou-se a areia de fundição como não inerte, haja vista a concentração do chumbo superior ao limite preconizado na NBR 10.004:2004.

Observou-se que a amostra não afetou os organismos, permanecendo 100% da amostragem sem qualquer indício de morte, ou com incapacidade de nadar, ou sequer flutuando na superfície. Os resultados mostraram que a amostra de areia de fundição não afetou a luminescência característica dos organismos da espécie *Vibrio Fischeri*. Conclui-se que a areia de fundição não é tóxica para as espécies analisadas.

Foram realizados ensaios de absorção d'água em 6 amostras de PCPs conforme a NBR 9.781:2013 indica, onde observa-se que a absorção d'água média foi 1,98. A resistência à compressão média mostra que o desempenho mecânico das PCPs foi satisfatório atingindo-se o valor de 35,67 MPa, superando os 35 Mpa requerido por norma.

Por meio do ensaio de tanque foi possível verificar a liberação dos metais Cromo (Cr), Cobre (Cu), Níquel (Ni), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn). Os valores de pH de todas as amostras coletadas ao longo dos 64 dias apresentam o mesmo perfil de comportamento, em torno de 11. O pH manteve-se alcalino afetando de forma igualitária a liberação dos contaminantes. Conforme Malviya e Chaudhary (2006) a variação de pH pode afetar em maior liberação do metal.

A análise química indicou que apenas três metais foram liberados durante o período de ensaio: Cromo (Cr), Níquel (Ni) e Zinco (Zn). Os elementos apresentaram concentração acumulada inferior ao Anexo F da NBR 10.004:2004, sendo assim, considera-se que ocorreu a inertização dos metais na matriz cimentícia, podendo-se concluir que sob o aspecto ambiental é viável a aplicação de areia de fundição em PCPs.

Considerando os resultados dos mecanismos de lixiviação, ocorreu lavagem superficial. Para o mecanismo de lixiviação ser aceito como difusão, em todos os três critérios avaliados teriam que encontrar a difusão, isso não ocorreu para nenhum elemento químico. Difusão é a passagem das moléculas do centro da peça para o exterior, já lavagem superficial é a perda de moléculas superficiais da peça.

A partir do cálculo do coeficiente de difusão (De) e log(De) definiu-se a mobilidade dos elementos lixiviados a partir do ensaio de tanque, como pode ser observado no Tabela 9. Apesar dos elementos Cr, Ni e Zn não apresentarem concentração superior aos limites estabelecidos na NBR 10.004:2004, determinou-se que apresentam alta mobilidade, tal característica não influenciou de forma negativa a qualificação de viabilidade ambiental da produção das peças de concreto para pavimentação com areia de fundição.

CONCLUSÃO

Analisando a substituição parcial da areia em 80%, verificou-se que em relação às especificações que a NBR 9.781:2013 não sofre perdas, a resistência à compressão atingiu o esperado, e a absorção d'água ficou bem abaixo do máximo permitido por norma. Comparando com a PCP que a empresa produz, a areia de fundição não trouxe perda na qualidade do produto. Recomenda-se que faça um estudo da substituição da areia natural por areia de fundição em outros teores, para descobrir qual o teor ótimo para melhor aplicação deste resíduo na produção de PCPs.

A avaliação da viabilidade apresentou resultados promissores, porém, para ser lucrativo para a empresa financeiramente a empresa produtora de PCPs teria que negociar com a empresa fornecedora da areia de fundição em relação ao frete. Mesmo a empresa geradora do resíduo tendo que pagar para entregar areia na empresa produtora de PCPs, ainda assim teria uma boa economia na disposição final deste resíduo.

O ensaio de tanque executado de acordo com a EA NEN 7.375:2004 indicou que os metais presentes na areia de fundição foram inertizados. Em relação ao Pb a lixiviação verificada quanto da caracterização do metal foi minimizada quando de sua inserção na matriz de cimento. Os metais Cr, Ni e Zn foram liberados, porém em quantidades inferiores ao permitido pela norma adequando o uso da areia em PCPs.

REFERÊNCIAS

- ABIFA (Associação Brasileira de Fundição), Manual de regeneração e reuso de areias de fundição, São Paulo, 2009.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9.781: Peças de Concreto para Pavimentação – Especificação e métodos de Ensaio. 2013.
- _____. NBR 10.004: Classificação de Resíduos sólidos. 2004.
- _____. NBR 10.005: Lixiviação. Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólido. 2004.
- _____. NBR 10.006: Solubilização. Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. 2004.
- ARMANGE, L. C. Utilização De Areia De Fundição Residual Para Uso Em Argamassa. 2005. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia De Materiais) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia De Materiais, Universidade Do Estado De Santa Catarina, Joinville, 2005.
- BORGES, V. Viabilidade da produção de concreto com uso de areia de fundição como agregado miúdo. 2008. 75 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade do Vale do Itajai, Itajai, 2008.
- DANTAS, J. M. Montagem, Comissionamento e Operação de um Sistema de recuperação de Areia de Fundição: Regenerador Térmico - Plano de Trabalho da Fase II. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – São Paulo. Nov. 2003.
- Environment Agency, EA NEN 7375:2004, “Leaching characteristics of moulded or monolithic building and waste materials determination of leaching of inorganic components with the diffusion test”, EA, Bristol, 2004.
- Foundry Sand Facts for Civil Engineers. Report No.: FHWA-IF-04-004. Washington DC: Foundry Industry Recycling Starts Today (FIRST), Federal Highway Administration Environmental Protection Agency, 2004. 80 p.
- LOUZAS, R. Infraestrutura. PINI WEB. São Paulo, set. 2013. Disponível em: <<http://piniweb.pini.com.br/construcao/Infraestrutura/conselho-estadual-de-meio-ambiente-libera-uso-de-areia-de-297823-1.aspx>>. Acesso em: 19 set. 2013.
- MALVIYA, R. e CHAUDHARY, R. Evaluation of Leaching characteristics and environmental compatibility os solidified/stabilized products. Journal of Hazardous Materials. Páginas 207–217. 2006.
- MINOCHA, A. K.; JAIN, N.; VERMA, C. L. Effect of inorganic materials on the solidification of heavy metal sludge. Cement and Concrete Research 33, pág. 1695-1701, 2003.

- ROCHA, J. P. A. Utilização De Areia De Fundição Em Concreto Auto-Adensável. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO. 53., 2011, Florianópolis. Anais... Florianópolis: CBC, nov. 2011. 1p-13p.
- SCHAEFER, C. O.; ZOLET, D. R.; ZORRER, D.; KARSCHIMARSKI, E.M. Valorização da areia de fundição em blocos estruturais de concreto. In: 56° Congresso Brasileiro do Concreto. Natal, RN, outubro, 2014.
- WATANABE, F. A. Estudo sobre a utilização de areia de fundição residual como agregado na confecção de pavimentos de concreto. 2004. 121 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia De Materiais) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia De Materiais, Universidade Do Estado De Santa Catarina, Joinville, 2004.
- VAN DER SLOOT, H.A., Heasman, L., Quevauviller. Harmonization of leaching extraction tests. Studies in Environmental Science, vol. 70. Elsevier Science, Amsterdam, 1997.
- VARGAS, A. S. de. Estudo da viabilidade do uso do pó de aciaria elétrica a arco na confecção de blocos de concreto para pavimentação. 2002. 166 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Porto Alegre, 2002.
- VENÂNCIO, C. Avaliação das propriedades elétricas de matrizes cimentícias contendo metais pesados. 2012. 222f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012
- ZORRER, D; KARSCHIMARSKI, E. M. Viabilidade da produção de bloco estrutural com uso de areia de fundição como agregado miúdo, 2013. 70f. Graduação (Graduado em Engenharia Civil) – Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar, Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2013.