



Reaproveitamento de areia de fundição descartada em substituição da areia natural na fabricação de blocos estruturais de concreto

Antônio Vanderlei dos Santos – vandão@urisan.tcche.br

PPGGEO - Programa de Pós-Graduação em Gestão Estratégica de Organizações – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

Ayane Rodrigues – rodrigues_ane@hotmail.com

Graduanda em Engenharia Civil – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

Mauro César Marchetti – mcm@urisan.tcche.br

Departamento de Engenharias e Ciências da Computação – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

Vanusa Andrea Casarin - vanusa.casarin@gmail.com

PPGGEO - Programa de Pós-Graduação em Gestão Estratégica de Organizações – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

Resumo—Com o expressivo progresso no setor industrial mundial, unido a novas tecnologias, vem o aumento da geração de resíduos sólidos e a consequente preocupação com a correta gestão dos mesmos. Um dos maiores problemas do setor de fundição é a geração de resíduos sólidos, constituídos principalmente pelas denominadas areias residuais ou Areias Descartadas de Fundição (ADF). O descarte adequado desses resíduos é um desafio para as indústrias, que cada vez mais está preocupada com a necessidade de preservar o meio ambiente, na busca do desenvolvimento sustentável a longo prazo. No Brasil, a produção de fundidos em 2008 ultrapassou os três milhões de toneladas, com a geração de, aproximadamente, uma tonelada de resíduo para cada tonelada de metal produzido. A principal destinação destes resíduos atualmente se dá em aterros de descarte industrial que além de ter um alto custo é uma preocupação ambiental cada vez maior para as empresas. Resolver esse problema é uma das funções desse trabalho, ou seja, propor uma metodologia de reaproveitamento desses resíduos sólidos, ao qual foram testados em nossa metodologia, sendo confeccionados corpos de prova com incorporação da areia de fundição em diferentes concentrações, em ordem crescente a cada 5% substituindo a areia natural pela areia de fundição.

Palavras-chave—Areia de Fundição, Blocos de Concreto, Reciclagem de Material.

1. INTRODUÇÃO

A areia usada pelas fundições é utilizada para dar molde às peças. Após sua utilização, torna-se o maior o resíduo industrial do Brasil, onde para cada tonelada de metal fundido é gerada outra tonelada de areia de fundição que precisa ser descartada. Cerca de três milhões de toneladas de resíduos chegam por ano aos aterros industriais no país.

O setor tenta comprovar que o resíduo considerado não inerte pela legislação brasileira pode ter outras finalidades, sem ser o de contaminar o meio ambiente. Alguns Estados como São Paulo e Santa Catarina permitem que a areia de fundição seja usada na fabricação de asfalto e na construção de artefatos de concreto que não tenham funções estruturais, como tijolos e lajotas para calçadas. Apesar da liberação, o uso é pequeno se comparado com o volume

de resíduos produzidos pelas fundições. Em maio de 2013, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) também aprovou norma que permite o uso das areias de fundição em aterros e asfalto.

A intenção do setor é implementar o modelo adotado nos Estados Unidos, países da Europa e Japão, em que esse tipo de areia é usado em cobertura de aterros, estradas e na agricultura, na composição de solo. Segundo Fabio Garcia, sócio da Faro Engenharia e coordenador do comitê de estudos de resíduos de fundição da ABNT, em 95% dos casos as areias são não-contaminantes, sendo uma oportunidade para economizar areia natural através do uso desse material."

O tratamento científico dos problemas passa não somente pela parte tecnológica, mas também por estabelecer metodologias eficazes de aproveitamento da areia de fundição. Sendo assim, não existem trabalhos científicos e tecnológicos para o reaproveitamento destes dois subprodutos das indústrias locais, tanto da construção civil como das fundições. O problema fica delimitado em propor uma metodologia do reaproveitamento de um agente poluidor que está corroendo o meio ambiente, e também do ponto de vista científico tecnológico, determinar os melhores traços nos produtos à base de areia de fundição, para que consiga concorrer com os outros artefatos comerciais que não utilizem a areia de fundição, ou qualquer outro resíduo industrial.

OBJETIVO GERAL

Estabelecer parâmetros previstos nas normas brasileiras de aproveitamento de resíduos e incorporação de areia de fundição em materiais de construção, a fim de proporcionar a criação de novos produtos que possam ter um aproveitamento comercial.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver produtos para a construção civil, utilizando os resíduos da indústria metal mecânica, proporcionando um aproveitamento racional dos mesmos.
- Retirar do meio ambiente produtos indesejáveis, assim subtraindo a degradação ambiental.
- Proporcionar a sociedade missioneira uma nova visão do aproveitamento de resíduos, incentivando a criação de novos produtos regionais.
- Desenvolver metodologia de testes de carbonatação e capilaridade, para os blocos e pisos intertravados.
- Identificar os parâmetros críticos dos processos e traços para a incorporação da Areia Descartada de Fundição.
- Desenvolver novos produtos para a construção civil e pavimentação utilizando os resíduos de construção civil e indústria metal mecânica, proporcionando um aproveitamento racional dos mesmos.
- Desenvolver novas técnicas de aproveitamento dos resíduos de areia de fundição, para sua reutilização segura em relação ao meio ambiente.

METODOLOGIA

É necessário inserir no projeto os conceitos de durabilidade e preservação do meio ambiente, desta forma deve-se conhecer o comportamento dos blocos em seu ambiente final de construção, ou seja, no meio ao qual estão inseridos.

Para avaliar a viabilidade da reutilização destes resíduos, primeiramente fez-se uma pesquisa a cerca do assunto através de uma revisão bibliográfica e verificação de estudos realizados em fundições que já possuem autorização para destinar as ADF como matéria-prima em outros processos industriais, bem como as legislações específicas para esta atividade. A segunda etapa foi de coleta do resíduo, onde se seguiu o procedimento de amostragem e preparo das amostras exigidas na ABNT NBR 10007:2004.

As coletas foram realizadas durante um período de 5 dias no final da linha de produção, onde os resíduos permaneciam em caçambas. Os resíduos coletados foram armazenados dentro de sacos plásticos identificados, cada embalagem com um volume de 1 kg, onde foram realizados os ensaios de granulometria e densidade no laboratório da empresa. Para o ensaio de granulometria utilizou-se o seguinte método: o resíduo inicialmente foi pesado, secado em estufa e colocado em um agitador de peneira (com peneiras correspondentes ao diâmetro de 20 mm, 30mm, 40mm, 50mm, 70mm, 100mm, 140mm, 200mm, 270mm e prato de fundo).

Executou-se então, as etapas de mistura do resíduo e preparo das amostras para enviar ao laboratório. As amostras foram enviadas para análise laboratorial de caracterização e classificação do mesmo, ensaios de lixiviação e solubilização, conforme ABNT NBR 10004:2004, 10005:2004 e 10006:2004, bem como do extrato aquoso para verificação dos parâmetros indicados na ABNT NBR 15702:2009. As análises foram realizadas por laboratório

terceirizado e cadastrado na FEPAM, que emitiu os laudos técnicos necessários para a viabilização da Areia Descartada de Fundição.

Os testes em escala de bancada foram realizados na indústria de blocos de concreto situada em Santo Ângelo e os ensaios nos laboratórios de Engenharia Civil da URI - Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Unidade de Pesquisa, situada em Santo Ângelo – RS; esta foi considerada a terceira etapa.

Foram confeccionados corpos de prova com incorporação da ADF em diferentes concentrações, em cada traço em ordem crescente retirou-se uma parcela de 5% da areia natural de rio substituindo pela areia de fundição. Na qual foram os traços de 5% a 100%, para a fabricação dos blocos e do produto sem adição da ADF, visando à obtenção do melhor traço para a incorporação do resíduo e comparação entre o produto com e sem adição da ADF. Os ensaios realizados com os corpos de prova do produto obtido foram: estruturais (resistência à compressão e absorção de água), conforme especificações da ABNT NBR 6136:2010, NBR 12118:2012 e NBR 9781:2013.

Divide-se então a metodologia em quatro momentos distintos:

No primeiro momento, fez-se o levantamento da produção tanto de areia de fundição como do resíduo de construção. Esse momento é de vital importância já que não foram encontrados dados sobre a Região das Missões na literatura feita nos periódicos pertencentes ao acervo existente no portal da Capes.

No segundo momentos fez-se a coleta de todos os materiais a serem utilizados na confecção dos blocos e a realização dos ensaios iniciais dos resíduos envolvidos. No terceiro momento realizou-se a parte prática, com experimentos para a execução do produto pré-determinado.

E por fim, no quarto momento, foi verificada a viabilidade dos produtos usando como padrão as normas técnicas brasileiras para analisar a qualidade do produto, e também a simulação de uma empresa com produção da inovação realizada para avaliar a possibilidade da implantação da mesma.

PARTE PRÁTICA DA METODOLOGIA: CONFECÇÃO DOS BLOCOS

Os blocos foram fabricados em grande quantidade de acordo com os traços escolhidos, os quais serão em ordem crescente a cada 5% retirando a areia de rio e substituindo pela areia de fundição. Os traços serão de 30% a 50% para a fabricação dos blocos. Fizeram-se os ensaios com apenas 1% dos blocos fabricados.

Em seguida, os blocos estruturais foram levados para a Universidade para a realização dos ensaios em laboratório. Colocados em câmara úmida, por um período de 28 dias após sua fabricação. Após esse período, os blocos foram capeados e rompidos na prensa hidráulica, para a verificação da resistência. Em seguida, realizou-se o ensaio de absorção nos blocos restantes.

Foram definidos diferentes traços, com diferentes quantidades de areia. O cimento utilizado nos experimentos foi o CPV-ARI. Realizando-se em seguida o ensaio de resistência a compressão axial do bloco e prisma de concreto e absorção do bloco de concreto (NBR 6136/2014, NBR 12118/2014, NBR 15961-1/2011, NBR 15961-2/2011).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A fim de propor uma metodologia, precisa-se saber que a areia verde é amplamente utilizada na indústria de fundição para fabricação de moldes. O metal é vazado, no final do processo as peças são desmoldadas e a areia utilizada na confecção destes sai do sistema como resíduo de fundição, chamado de ADF. Parte desse resíduo é retornada ao sistema e o restante é descartado, sendo que o destino atualmente é o aterro de resíduos sólidos. As areias descartadas de fundição (ADF) são constituídas de 98,81% de areia, aglomerantes - aditivos bentonita 0,83%, amido de milho 0,06%, carvão 0,3% e água.

A quantidade de agregado a ser utilizado em cada mistura é passada pelo operador da máquina, aonde ele programa a quantidade do agregado a ser utilizada em Kg. Após esse processo, o programa da máquina informa os silos de agregados. Cada agregado sai do silo através da esteira e é depositado em uma balança. Essa balança transfere todo o agregado para levar a mistura de agregados até o misturador. No misturador é depositada a mistura introduzindo a quantidade de cimento, de água e de aditivo, e faz-se a homogeneização dessa mistura. Após esse processo, a mistura pronta é levada através de uma correia de transporte para a máquina que faz a prensagem do bloco.

Para cada produto a ser fabricado tem-se moldes específicos, sendo que o molde é preenchido com a mistura e prensado. O produto final com a adição da areia de fundição deverá possuir as mesmas características de

desempenho e utilização, comparado com os produtos utilizados hoje, apenas areia natural. Para obtenção dos resultados, serão realizados ensaios de resistência à compressão e absorção de água. O produto final será utilizado para a construção civil, como por exemplo, casas, condomínios, calçadas, pavimentação e prédios. Neste trabalho, foram utilizados blocos de concreto que têm função tanto como vedação quanto estrutural da obra.

Na primeira etapa foram realizados ensaios de granulometria. Estes resultados demonstram que a granulometria da ADF é equivalente a granulometria da areia utilizada pela indústria, portanto, no aspecto granulométrico, foi comprovada a viabilidade de utilização deste resíduo. Quanto à classificação, segundo as normas do Brasil e caracterização da areia de fundição, esta apresentou-se dentro dos limites permitidos pela ABNT NBR 1004:2004.

No ensaio de lixiviação pela ABNT NBR 10.005:2004 os parâmetros satisfazem os limites permitidos, o resíduo apresentou-se como não tóxico.

Para a classificação do resíduo, os resultados indicaram que a ADF é classificada como resíduo não perigoso classe II A - não inerte, conforme ABNT NBR 10.006:2004, apenas o parâmetro Alumínio ultrapassou o limite máximo permitido, porém este não foi significativo, sendo que ultrapassou apenas 0,053 mgAl/L. Estes resultados comprovam a possibilidade de reutilização deste resíduo na fabricação de pisos e blocos de concreto. Foram realizadas ainda análises do extrato aquoso e lixiviado conforme ABNT NBR 15702:2009, onde os resultados apontaram que todos os parâmetros satisfazem os limites permitidos.

Na segunda etapa foram montados os corpos de prova e realizados os ensaios. Foi incorporado o resíduo de ADF à mistura dos demais agregados nas proporções de 5%, 10%, 30%, 35%, 40%, 45% e 50%, 60%, 65%, 70%, 75%, 80%, 85%, 90% e 95%, obtendo-se os seguintes resultados:

A amostra atende às especificações de resistência para blocos da Classe B, igual ou superior a 4,00Mpa. Ressalta-se que todos os traços estão acima de 4,00 Mpa logo, todos os traços estão aptos a sua utilização como materiais estruturais em construção civil. No que diz respeito à resistência a compressão, indica-se os traços no intervalo entre 30 e 45%, cuja resistência à pressão é 12,11Mpa, e também no caso de 70% que a resistência é de 10,57Mpa. Tem-se uma resistência semelhante nos traços que utilizam 15% de areia de fundição, mas como se está interessado em utilizar a maior quantidade de areia possível, para que haja um aproveitamento maior da mesma, sugere-se a utilização do intervalo de 30 a 45% de areia de fundição, e também no intervalo de 70% de areia de fundição.

Quanto ao aspecto visual, a norma NBR 6136:2007 especifica de maneira geral que os blocos devem ter arestas vivas e não devem apresentar trincas, fraturas ou outros defeitos que possam prejudicar o seu assentamento ou afetar a resistência e a durabilidade da construção, não sendo permitido qualquer reparo que oculte defeitos eventualmente existentes no bloco. A inspeção visual permitiu verificar que a amostra analisada está em conformidade com as especificações, já que obedece totalmente a norma.

Este trabalho apresenta os resultados dos ensaios de absorção de água em uma amostra de blocos de concreto contendo seis corpos-de-prova. Os ensaios constituem parte dos procedimentos para obtenção do Selo de Qualidade ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland). Nos blocos vazados de concreto simples para alvenaria moldados com agregado normal, a absorção média deve ser menor ou igual a 10%.

Os ensaios realizados permitiram verificar que a amostra analisada está em conformidade com as especificações de absorção, exceto feita na que possui 30% de substituição de areia natural de rio por areia de fundição. Assim pode-se sugerir que todos os outros traços sejam usados para a fabricação de blocos vazados de concreto e o melhor resultado é o de 35% de substituição de areia natural por areia de fundição.

CONCLUSÃO

Além de tecnicamente viável, o reaproveitamento é uma solução economicamente vantajosa para a indústria, já que as empresas são responsáveis por descartar esses resíduos e pagam um preço alto para este descarte. A produção dos blocos de concreto também tende a ficar mais barata, uma vez que o fabricante deve pagar menos pela matéria-prima, sendo este, um valor simbólico, ou até mesmo sem nenhum custo, já que a indústria de fundição gera uma grande quantidade desse resíduo. Os testes mostram que a maioria das substituições de areia verde por areia de fundição pode ser utilizada na construção de blocos de concreto, pois obedecem tanto as normas referentes a suportar pressão como as normas de absorção de água.

Também, há o interesse em desenvolver um modelo de gestão de produtos inovadores, pois está sendo mostrado que um produto tido como problema para as empresas que utilizam areia como molde para realizar fundições, será

transformado em mais um produto comercial e inovador garantindo assim, que algumas divisas fiquem na região, objetivando a formação de uma geração voltada à inovação tecnológica.

REFERÊNCIAS

BRUNO - FARIA, Maria De Fatima; FONSECA, Marcus Vinicius De Araujo. **Cultura de inovação: conceitos e modelos teóricos**. RAC - Revista de Administração Contemporânea, Rio de Janeiro, v. 18, n. 4, p.372- 796, July-August, 2014. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rac/v18n4/1415-6555-rac-18-04-00372.pdf>>. Acesso em: 25/08/2015.

DA COSTA, Priscila Rezende; PORTO, Geciane Silveira; FELDHAUS, Diogenes. **Gestão da cooperação empresa-universidade: o caso de uma multinacional Brasileira**. (Report.). RAC - Revista de Administração Contemporânea, Curitiba, v. 14, n. 1, art. 6, p. 100-121, Jan./Fev., 2010. [Periódico revisado por pares]. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rac/v14n1/07.pdf>>. Acesso em: 23/08/2015.

COBETT, T. **The ABCs of green sand**. Foundry Management & Technology, v. 130, n.4, p.24-39, 2002. Disponível em: <<https://getinfo.de/en/search/id/tema%3ATEMA20020605792/The-ABCs-of-green-sand/>>. Acesso em: 21/08/2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT. NBR 10004- **Resíduos Sólidos** – Classificação. DENG, An. Contaminants in waste foundry sands and its leachate. Int. J. of Environment and Pollution, v.38, n.4, p.425-443, 2009. Disponível em: <<http://www.inderscience.com/info/inarticle.php?artid=27274>>. Acesso em: 18/08/2015.

DUNGAN, R.S.; DEES, N.H. **The characterization of total and leachable metals in Foundry molding sands**. J. Environ. Manage, v.90, p. 539–548, 2009. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479707004161>>. Acesso em: 15/08/2015.

DUNGAN, R.S.; HUWE, J.; CHANEY, R.L. **Concentrations of PCDD/PCDFs and PCBs in spent foundry sands**. Chemosphere, v. 75, p. 1232-1235, 2009. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653509001696>>. Acesso em: 26/07/2015.

CARNIN, R. **Reaproveitamento do resíduo de areia verde de fundição como agregado em misturas asfálticas**. 2008. 152 f. Tese (Curso de pós-graduação em química). Departamento de Química, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2008.

GUTIÉRREZ KLINSKY, Luiz Miguel. **Proposta de reaproveitamento de areia de fundição em sub-base e base de pavimentos flexíveis, através de sua incorporação a solos argilosos**. 2008. 189 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

BOHRZ, S. R. et al. **Resíduos da usinagem na região das Missões: pesquisa, criação literária e avaliações para reaproveitamento**. Simpósio Internacional de Inovação Tecnológica, v. 2, p. 40-49, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT. NBR 6136:2007- **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria- requisitos**.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT. NBR 9781/2013 - **Peças de concreto para pavimentação Especificação e métodos de ensaio**.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT. NBR 10007:2004 - **Amostragem de resíduos sólidos**.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT. NBR 10005:2004 - **Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT. NBR 10006:2004 - **Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT. NBR 15702:2009 - **Areia descartada de fundição - Diretrizes para aplicação em asfalto e em aterro sanitário.**

TURRIONI, João Batista; MELLO, Carlos Henrique Pereira. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção Estratégias, métodos e técnicas para condução de pesquisas quantitativas e qualitativas.** UNIFEI, 2012.

APPOLINÁRIO, F. **Metodologia da ciência – filosofia e prática da pesquisa.** São Paulo: Editora Pioneira Thomson Learning, 2006. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10520 – Informação e documentação. Citação.