

Areia de Fundição como uma Alternativa Sustentável: Influência nas Propriedades do Concreto pela substituição parcial do Agregado Miúdo

Foundry Sand as a Sustainable Alternative: Influence on Concrete Properties by Partial Replacement of Small Aggregate

Gediel da Silva, Graduando em Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ

gediel@outlook.com

Kananda de Bairros, Graduando em Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ

kananda_de_bairros_@hotmail.com

Jessica da Rosa, Graduando em Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ

jessssdarosa@gmail.com

Edio Oscar Frihling Junior, Graduando em Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ

ediooscar@gmail.com

Lucas Fernando Krug, Prof. M. Sc. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ

lucas.krug@unijui.edu.br

Resumo

Como consequência do intenso processo de globalização, surgem discussões relacionadas às questões ambientais, buscando formas de mitigar os impactos causados por processos de produção e pelo uso de recursos naturais em grande escala. Este estudo tem como objetivo a realização de uma pesquisa bibliográfica, complementada com um estudo experimental, a respeito da utilização da areia descartada de fundição como material alternativo na produção de concreto, abordando a caracterização, o tratamento e as principais influências no comportamento do compósito mediante a substituição parcial do agregado miúdo pelo resíduo tratado em diferentes temperaturas. Contudo, com base nos estudos, constatou-se que a substituição, até determinadas porcentagens e temperaturas de tratamento, teve bons resultados de resistência, no entanto, o efeito contrário ocorreu em porcentagens e temperaturas mais elevadas. Assim, concluiu-se que a utilização de areia descartada

de fundição tem contribuições ambientais, além de proporcionar propriedades desejáveis ao concreto mediante a dosagem adequada.

Palavras-chave: Areia de Fundição; Concreto; Material Alternativo; Sustentabilidade

Abstract

As a consequence of the intense globalization process, discussions related to environmental issues arise, looking for ways to mitigate the impacts caused by production processes and the use of natural resources on a large scale. This study aims to carry out a bibliographic search, complemented with an experimental study, regarding the use of discarded foundry sand as an alternative material in the production of concrete, addressing the characterization, treatment and the main influences on the behavior of the composite through the partial replacement of the fine aggregate with the waste treated at different temperatures. However, based on the studies, it was found that the replacement, up to certain percentages and treatment temperatures, had good resistance results, however, the opposite effect occurred at higher percentages and temperatures. Thus, it is concluded that the use of discarded foundry sand has environmental contributions, in addition to providing desirable properties to the concrete through adequate dosage.

Keywords: Foundry Sand; Concrete; Alternative Material; Sustainability

1. Introdução

O crescimento do setor industrial, traz como principal consequência o aumento da geração de resíduos sólidos. Pode se assegurar que praticamente toda atividade industrial terá a geração de resíduos, e se não houver um tratamento adequado, os mesmos podem causar significativos impactos ambientais (KLINSKY, 2008). A atual produção de resíduos urbanos e industriais é tamanha que acaba gerando para a sociedade atual um enorme problema, não somente no âmbito ambiental, mas também de caráter social e econômico de maneira integrada, o que torna a defesa e cuidado com o meio ambiente um assunto também presente em organizações empresariais (OLIVEIRA, COSTA, 1996).

A questão que tem se tornado muito importante para as empresas na década atual é a preservação do meio ambiente, sendo que, a sua defesa passou a ter forte relevância nas estratégias empresariais e deixou de ser somente um assunto ecologista, algumas empresas buscam colocar em primeiro lugar a melhor qualidade de vida para a sociedade, solucionando os problemas ambientais e ao mesmo tempo explorando oportunidades com os tais (OCDE, 1985).

Conforme Oliveira e Costa (1996) no Brasil, muitas empresas que estão se adequando para atender solicitações de proteção do meio ambiente, com a redução do impacto de suas atividades verificaram que não agredir o meio ambiente é economicamente viável. A reciclagem e a reutilização de resíduos industriais são nos dias atuais as alternativas mais apropriadas ao problema dos resíduos, já que além de resolver a questão ambiental de minimização dos resíduos, resolve com isso uma questão de ordem econômica e social, já

que as empresas podem realizar a venda desses materiais a preços de mercado ou mesmo utilizá-lo no próprio processo da Indústria.

A indústria de fundição tem como principal resíduo sólido a areia de fundição, setor que apresentou nos últimos anos um forte crescimento, tendo no ano de 2007 ultrapassado três milhões de toneladas, isso trouxe a necessidade de reduzir a disposição da areia de fundição em aterros de descarte (KLINSKY, FABBRI, 2009). Com a finalidade de encontrar um destino melhor para esse resíduo procuram-se alternativas para a sua reciclagem, no qual as quantidades consumidas sejam maiores e permitam uma redução significativa da disposição do resíduo, preservando com isso os recursos naturais e diminuindo a degradação do meio ambiente. A reciclagem, além de diminuir os volumes em aterros, também pode gerar economia, pela substituição parcial do mesmo em processos em que seria necessária a utilização de areia virgem natural, o que resulta ainda na diminuição de energia em sua extração (MARTINS et al., 2012).

Segundo NBR 10004 (ABNT, 2004), que traz a classificação de resíduos sólidos, a areia de fundição é um resíduo sólido não perigoso (Classe II). Porém, segundo Biolo (2005) algumas areias podem conter componentes que podem ser perigosos, quando há mistura com outros resíduos da produção de fundidos por exemplo, tornando-se um resíduo perigoso (Classe I).

Existem várias aplicações apontadas para a areia de fundição, sendo muito difundida, prova disso são estudos que comprovam sua utilidade como materiais alternativos, o que a torna não apenas um resíduo, mas uma matéria-prima em potencial (KLINSKY, FABBRI, 2009).

Como afirma Bosio (2018), a sua aplicação é muito interessante em áreas da construção civil, o uso da areia de fundição pode ocorrer na incorporação em pisos de concreto, em sub-bases e bases de pavimentos flexíveis, em blocos cerâmicos, assentamento de artefatos para pavimentação, assentamento e recobrimento de tubulações da rede de esgoto sanitário, reforço de subleito para execução de estradas, rodovias e vias urbanas, fabricação de argamassas para artefatos de concreto sem função estrutural, e em concretos.

Assim, tendo em vista as constantes discussões a respeito de questões ambientais, bem como o crescente desenvolvimento de pesquisas relacionadas à ciência dos materiais de construção voltadas ao atendimento de indicadores de sustentabilidade, o presente artigo tem como finalidade apresentar a caracterização da areia de fundição, os tratamentos prévios necessários para a sua utilização em concretos e/ou argamassas, bem como os possíveis ensaios realizados a fim de conhecer o comportamento e as propriedades do concreto mediante a utilização deste resíduo como substituição parcial de agregados miúdos.

2. Referencial Bibliográfico

A indústria de fundição utiliza grande quantidade de areia para produzir moldes nos quais o metal líquido é vazado para fabricação de peças de metais ferrosos e não ferrosos. Essa Areia de Fundição (AF) é formada basicamente pela mistura de areia, bentonita (argila), carvão e material fino (CHEGATTI, 2016).

2.1. Composição da areia de fundição

O principal componente das areias de fundição é a “areia base”, constituída de grãos minerais normalmente com alto teor de sílica (SiO_2 , provenientes de rochas ricas em quartzo, desintegradas devido à ação de intempéries), portanto a constituição mineralógica dessas areias é essencialmente de quartzo (acima de 99%) e impurezas com menos de 1% (predominando feldspatos K_2O , Al_2O_3 e argila). Outros tipos de areia empregados na fundição de peças podem ser: Areia de zirconita ($\text{ZrO}_2 \text{ SiO}_2$), Areia de cromita ($\text{FeO Cr}_2\text{O}_3$), Areia de olivina (2MgO SiO_2). (BROSCH, 1985).

A bentonita (argila) é um silicato de alumina hidratado (contém em sua composição silício, alumínio, ferro, cálcio, magnésio, potássio e sódio), formada por lamelas, sendo classificada pela espessura das mesmas. Funciona como aglomerante da areia base, pois a presença de água aumenta a força de ligação entre as lamelas de bentonita, dando maior resistência aos moldes. O pó de carvão é um aditivo formado por matéria volátil, carbono fixo, cinzas, água e enxofre. Sob a influência do calor, desprende gases que criam uma atmosfera redutora, favorecendo uma melhoria do acabamento superficial das peças fundidas. (BROSCH, 1985; COSTA e GIÃO, 2001).

Segundo os autores Garnar (1977) e Le Serve et al. (1976), a composição físico-química das areias de fundição depende do processo de moldagem e do tipo de metal a ser fundido, devendo atender basicamente os seguintes requisitos:

- Apresentar estabilidade dimensional e térmica a elevadas temperaturas;
- Tamanho e formato de partículas adequados;
- Ser quimicamente inerte a metais fundidos;
- Não conter elementos voláteis que produzam gás no aquecimento;
- Ser disponível em grandes quantidades e preços razoáveis;
- Possuir pureza e pH de acordo com os requisitos dos sistemas ligantes;
- Ser compatível com os ligantes químicos utilizados.

Dependendo do tipo de ligante utilizado, as areias de fundição podem ser classificadas em dois tipos: areia Ligada com Argila (areia verde) e Areia Quimicamente Ligada (SCHEUNEMANN, 2005).

2.1.1. Areia Ligada com Argila (Areia Verde)

A areia verde é utilizada para confecção dos moldes que darão forma às faces externas da peça a ser fundida. Esse tipo de areia é aglomerada com argila e moldada no estado úmido, sem receber secagem previa ao vazamento (CARNIN, 2008; SCHEUNEMANN, 2005).

É composta por areia de sílica de alta qualidade (85-95%), argila de bentonita (4-10%), aditivo carbonáceo (2-10%), e água (2-5%). Pode conter vestígios de MgO , K_2O e TiO_2 (SIDDIQUE e SINGH, 2011; SINGH e SIDDIQUE, 2012).

O processo de moldagem com areia verde é o mais econômico, rápido e convencional, pois permite a fabricação de peças em tamanhos variados e a conformação de praticamente todas ligas metálicas, inclusive de metais como aços, níquel e titânio, que possuem alto ponto de fusão (ADEGAS, 2007; SCHEUNEMANN, 2005).

2.1.2. Areia Quimicamente Ligada

A areia quimicamente ligada é utilizada na fabricação dos machos, que são peças sólidas, colocadas no interior dos moldes de areia com o objetivo de formar cavidades e detalhes nas peças a serem fundidas. Para conferir aos machos a força suficiente (para suportar o metal fundido) e a colapsibilidade necessária (para sua posterior remoção da peça fundida), em sua composição é utilizado de 1-3% de ligantes químicos que podem ser orgânicos (furânicos, fenólicos, uretânicos, etc.), inorgânicos (silicato de sódio e cimento portland) e mistos (como as resinas fenólicas alcalinas) (ADEGAS, 2007; SCHEUNEMANN, 2005; SIDDIQUE e SINGH, 2011).

2.2. Areia descartada de fundição (ADF)

Após o resfriamento, os produtos de ferro acabados são removidos dos moldes de areia e estes são quebrados. Cerca de 90% da areia verde utilizada pode ser reinserida no processo de produção, enquanto que os outros 10%, por receber contato direto com o metal fundido, perdem características para uma boa moldagem e tem de ser descartados (CASOTTI et al, 2011). A ADF representa cerca de 85% do total de resíduos da indústria de fundição, estimando-se uma geração anual de 3 milhões de toneladas de ADF no Brasil (ABIFA, 2012; CHEGATTI, 2016).

Devido a presença de ligantes químicos e metais, entende-se que os resíduos de ADF, quando gerenciados de forma imprópria, podem oferecer riscos à saúde dos seres humanos ou ao meio ambiente, portanto geralmente enquadram-se nas classes I e II-A da NBR 10.004 – Resíduos Sólidos – Classificação: Classe I (perigosos), Classe II-A (não perigosos e não inertes) e Classe II-B (inertes) (COMISSÃO DO MEIO AMBIENTE DA ABIFA, 1999).

2.3. Tratamento da areia de fundição

De acordo com Scheunemann (2005), para regenerar uma areia originária do processo de fundição, é necessária a realização de algumas etapas específicas, adequando este resíduo ao uso como agregado na construção civil. Na Tabela 1 são apresentadas as principais etapas da regeneração e seus respectivos processos.

| Etapa | Processo |
|-------|---|
| 1ª | Desagregação de torrões e grumos, que corresponde à liberação dos grãos Individuais da areia, sendo uma etapa indispensável. |
| 2ª | Remoção de óxidos metálicos e outros resíduos metálicos. |
| 3ª | Remoção dos resíduos de ligantes, aditivos e seus produtos de decomposição aderidos aos grãos, ou seja, uma limpeza superficial dos grãos. Esta etapa que difere de forma efetiva a regeneração da recuperação; |
| 4ª | Classificação granulométrica da areia regenerada. |

Tabela 1: Principais etapas para a regeneração da Areia de Fundição. Fonte: Maciel (2017).

Conforme Park et al. (2012), existem três métodos de recuperação da areia verde de fundição: recuperação térmica, úmida e mecânica seca. Para Maciel (2017), a escolha do

método adequado varia de acordo com o processo de moldagem ao qual a areia foi submetida, segundo ele a composição química final do resíduo sólido, tem influência no rendimento de cada método.

Em seus estudos Pinto (2013) caracterizou os três métodos. O primeiro método consiste em utilizar calor em um forno rotativo com temperaturas superiores a 700°C, porém existe risco de emissões de gases, que devem ser cuidadosamente controlados. Já a recuperação úmida é o método mais eficaz para a recuperação de areias, onde a primeira fase é realizada com atrito mecânico úmido, utilizando água e ácido clorídrico ou ácido sulfúrico, e em seguida a mistura é seca. Porém a desvantagem é a produção de lodo que deve ser tratado posteriormente.

A recuperação mecânica seca, é o método com melhor custo-benefício, pois é mais econômica e eficiente que as outras formas de recuperação. Há uma fase especial de atrito, onde remove a camada oolítica circundante e os grãos de sílica, posteriormente ocorre a separação das partículas finas por ar ou por uma tela de vibração (PARK et al., 2012).

2.4. Características influenciadas pela incorporação no concreto

O autor Marcon (2013) empregou areia de fundição em concretos plásticos, executando argamassas com um traço de 1:3:0,55:0,5% e uma substituição de 50 e 100%. Os índices de consistência obtidos foram 200mm para 50% e 150mm para 100%, já o de referência resultou em uma consistência de 250mm. No ensaio de resistência à compressão o autor chegou à conclusão que a substituição de 50% reduz aproximadamente 16% da resistência e para a de 100% há uma redução de 57%. Após estes resultados insatisfatórios do ponto de vista da consistência e da resistência do concreto, o autor optou por submeter a areia a um tratamento térmico de 900°C, deste modo, encontrou consistências de 300mm para o referência, 280 mm para ambas substituições de 50 e 100%, evidenciando-se assim a importância do estudo das características dos materiais empregados na dosagem.

Já Siddique et al. (2009), estudaram quais os resultados causados pela aplicação da areia de fundição (à base de bentonita) nas propriedades mecânicas do concreto, onde o foco principal é a resistência à compressão. Para que o ensaio fosse executado, foram realizadas três misturas com diferentes proporções de substituição (10%, 20% e 30%) e uma mistura referência, sem areia de fundição. Para a verificação das propriedades foram realizados ensaios com o concreto no estado fresco e no estado endurecido, verificando quais as resistências obtidas com a cura dos corpos de prova aos 28, 56, 91 e 365 dias. Na Tabela 2 são apresentados os valores obtidos no processo de cura aos 28 dias.

| % de substituição | 0% | 10% | 20% | 30% |
|---------------------------------------|------|------|-----|------|
| Resistência à compressão obtida (MPa) | 28,5 | 29,7 | 30 | 31,3 |

Tabela 2: Resistência à compressão obtida. Fonte: Siddique, (2009).

Neste estudo, observa-se que a aplicação da areia de fundição em porcentagens de até 30 % foi satisfatória, apresentando um acréscimo na resistência à compressão em relação a mistura referência, comprovando um alto potencial para a sua substituição. Já, em comparação, o estudo de Macron (2013), apresentou uma redução na resistência do concreto

mediante a substituição em porcentagens acima de 50%, podendo-se inferir que a substituição em porcentagens elevadas pode não ser uma alternativa viável.

Pinto (2013), por sua vez, estudou em sua dissertação a adição como agregado miúdo em substituição de parte da areia natural na produção do concreto. Os teores utilizados foram de 10 e 20% de substituição, o ensaio de difração por Raio X revelou alto teor de carbono (grafite) e Óxido de Silício (SiO₂). Houve uma diminuição dos valores de abatimento para o concreto com adição de 10 e 20%, havendo um incremento na coesão e consistência, já para a compressão axial, a resistência aumenta para o teor de 10% e volta diminuir para o teor de 20%. Na Microscopia eletrônica de varredura (MEV) encontrou-se uma distribuição heterogênea dos tamanhos das partículas, com dimensões que variam de 55 a 150 um, possuindo uma morfologia de partícula angular tendendo a esférica.

Segundo Lea e Desh (2003), a trabalhabilidade do concreto é a capacidade com que o concreto flui enquanto, ao mesmo tempo, fica coerente e resistente a segregação. Nesse sentido, Guney et al. (2010) realizaram testes com quatro misturas diferentes no concreto, sendo que três dessas misturas substituíram o agregado miúdo (areia natural) pela areia de fundição nas proporções de 5, 10 e 15% e uma mistura sendo referência para a análise das propriedades. As substituições dos agregados foram feitas em massa, e a relação água cimento utilizado foi de 0,45. Os resultados obtidos pelo autor no ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone (Slump Teste), na presença de substituição dos agregados, demonstraram uma diminuição da fluidez e do valor dos abatimentos das misturas, conforme expostos na Figura 1.

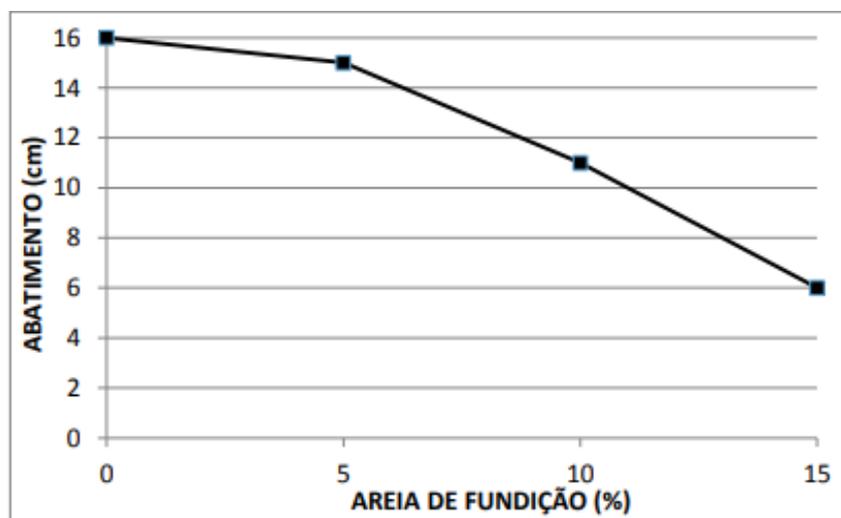


Figura 1: Abatimento em função do teor de ADF. Fonte: Guney et al. (2010).

Uma justificativa para a diminuição da fluidez apresentada pelo concreto pode ser pela presença de materiais finos argilosos na areia de fundição, devido esse tipo de material aumentar a exigência de água no concreto para atingir uma consistência pré-estabelecida. Além disso, outra contribuição para tal redução de fluidez é devida às substituições dos materiais serem realizadas em massa.

3. Metodologia

O presente estudo consiste em uma pesquisa bibliográfica sobre o reaproveitamento de resíduos na construção civil, tendo como foco principal a areia descartada de fundição. Assim, realizou-se uma análise sistematizada em relação caracterização deste material, sua composição, tratamento e aplicação. Através da exploração de resultados de estudos anteriores de diferentes autores, buscou-se compreender os aspectos relacionados ao assunto, bem como as características e propriedades conferidas ao concreto mediante a utilização da areia de fundição na substituição parcial ou total do agregado miúdo.

Além disso, complementou-se a pesquisa bibliográfica de forma experimental, realizando 3 moldes de concreto para um traço referência (sem substituição da areia natural) e 3 moldes de concreto com a substituição de 20% da areia natural pela areia descartada de fundição, sendo essa última aquecida às temperaturas de 100°C, 300°C e 600°C, com a finalidade de comparar os resultados obtidos para a resistência a compressão axial. Os ensaios para a verificação das resistências para cada um dos casos foram realizados aos 28 dias de idade do concreto após a moldagem.

4. Resultados e Discussões

A resistência a compressão axial do concreto apresenta-se como uma das propriedades de maior importância para a análise e interpretação de experimentos. Para este estudo, considerou-se a idade de cura de 28 dias para a análise dos resultados obtidos em cada um dos traços, conforme apresentados na Figura 2.

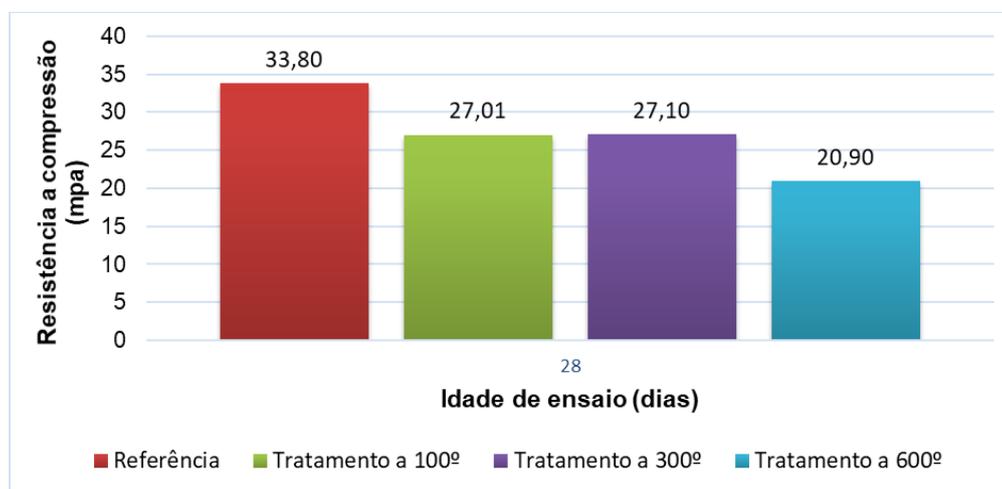


Figura 2: Resultados da resistência à compressão. Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Pode-se observar que a substituição de 20% da areia natural por areia descartada de fundição não apresentou significativas reduções de resistência em relação ao traço de referência, que possa comprometer a sua utilização. Dentre os casos que tiveram substituição, percebeu-se uma variação nos resultados para as diferentes temperaturas de tratamento. Contudo, o melhor resultado foi observado no tratamento a 300°C (27,10 Mpa), no entanto à medida que a temperatura aumenta para 600°C, percebe-se um significativo decréscimo de resistência.

Em suma, através dos ensaios, pode-se concluir que nas temperaturas de 100°C e de 300°C obteve-se um resultado muito semelhante, porém, em nenhuma das temperaturas obteve-se uma resistência maior que no traço de referência. Já na temperatura de 600°C a variação de resistência foi maior, não sendo recomendando a utilização de temperaturas de tratamento muito elevadas, uma vez que os materiais acabam perdendo suas propriedades.

5. Conclusão

É possível concluir que a substituição de materiais convencionais utilizados na produção de concreto por resíduos é uma alternativa viável e digna de estudos. Em determinadas situações, esta prática proporciona melhorias nas propriedades do concreto, reduzindo o uso de matérias primas naturais, diminuindo os impactos ambientais mediante a destinação correta dos resíduos.

Analisando os resultados obtidos pelos autores estudados para o desenvolvimento deste trabalho, foi possível perceber a influência direta da substituição do agregado miúdo natural convencional pela areia descartada de fundição na fluidez do concreto, sendo que, os autores ressaltam que esta pode ser melhorada mediante o tratamento térmico da ADF.

Em relação à resistência, quando a substituição foi em pequenas porcentagens, se obtém um leve acréscimo, no entanto os resultados para uma substituição em maiores porcentagens indicaram um decréscimo significativo na resistência a compressão axial do concreto.

Desta maneira, após a análise dos resultados estudados na bibliografia, bem como o que se obteve no estudo experimental realizado neste trabalho, conclui-se que a adição da areia descartada de fundição, devidamente tratada, é possível e pode ser aderida pelo mercado da construção civil em um breve futuro. No entanto, vale ressaltar que, para que os traços utilizados nos ensaios sejam produzidos em volumes maiores é necessário maiores informações e estudos mais avançados, principalmente em relação à composição dos resíduos e à microestrutura do concreto produzido, justificando assim a importância da pesquisa.

Além do estudo da resistência à compressão axial, sugere-se ainda novos estudos a respeito das propriedades específicas e determinantes do desempenho do concreto, influenciadas pelas substituições.

Referências

- ADEGAS, Roseane Gonçalves. Perfil Ambiental dos Processos de Fundição Ferrosa que utilizam Areias no Estado do Rio Grande do Sul. 108 f. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais). Escola de Engenharia, UFRGS, 2007.
- ABIFA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO. Soluções para as Areias descartadas de Fundição – ADF. Revista Fundição & Matérias-primas, 98º ed., São Paulo, julho, 2008.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 10004. Resíduos sólidos: classificação. 2004, Rio de Janeiro.

_____. ABNT/CB-59 – Fundição. Disponível em: <http://abnt.iso.org/livelihood/livelihood/fetch/14025021/cb59.pdf?nodeid=14091744&vernum=0>. Acesso em 24. set. 2019.

BIOLO, S. M. Reuso do resíduo de fundição areia verde na produção de blocos cerâmicos. 2005. 146f. Dissertação (Mestre em Engenharia de Minas). Área de concentração: Tecnologia mineral e metalurgia extrativa. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre.

BOSIO, M. Quais os usos e as implicações ambientais da areia de fundição em obras. *Jornal CVJ*, 2018. Disponível em: <http://foundrygate.com/br/noticias/ver/4510/quais-os-usos-e-as-implicacoes-ambientais-da-areia-de-fundicao-em-obras/>. Acesso em: 25 set. 2019.

BROSCH, C.D, RÉ, V.L. et al. Areia de fundição e materiais de moldagem. São Paulo, Boletim IPT n. 54. 1985.

CARNIN, Raquel Luísa Pereira. Reaproveitamento do Resíduo de Areia Verde de Fundição como Agregado em Mistura Asfáltica. 2008, Tese de Mestrado. Departamento de Química, Universidade Federal do Paraná.

CASOTTI, Bruna Pretti; BEL FILHO, Egmar Del; CASTRO, Paulo Castor. P.C. Indústria de Fundição: Situação Atual e Perspectivas, *Metalúrgica, BNDS Setorial*, nº 33, p-121-162. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes/pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set3304.pdf>. Acesso em: 24. set. 2019.

CHEGATTI, Schirlene. Areias Descartadas de Fundição: Contexto, Gerenciamento e Impacto. [S.l.]: Appris, 2016.

GARNAR JR, T.E. Mineralogy of Foundry Sands and its Effects on Performance and Properties. *American Foundrymen's Society Transactions*, v.85, p.399-416, 1977.

GIÃO, D.; COSTA, O. Tecnologia da Fundição em Areia Verde. 2001. 30 p. Monografia – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto.

KLINSKY, L. M. G.; FABRI, G. T. P. Reaproveitamento da areia de fundição como material de base e sub-base de pavimentos flexíveis. *Transportes - volume XVII*, 2009.

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. 2008. 189f. Dissertação (Mestre em Engenharia de Civil) Área de concentração: Transportes. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos.

LE SERVE, F., WARD, G. The Availability and Technical Requirements of Foundry Sands. *Chemical Binders in Foundries*, University of Warwick, BCIRA. p.3.1-3.10, 1976.

LEA, F., DESH, C., 2003. The chemistry of cement and concrete. Ed. ButterworthHeinemann. Londres – Inglaterra.

MACIEL, Thiago Favoretto. Regeneração Úmida de Areia de Fundição: Tratamento em Areias a Verde. 2017. 44f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Fabricação Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2017.

MARCON, Matheus Felipe. Aproveitamento da areia de fundição como agregado miúdo fino em concretos. 2013. 69f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2013.

MARTINS, J. C.; OLIVEIRA, V. M de; SPILLERE, I. B.; DOMINGUINI, L.; BETIOLI, A. M. Caracterização de Resíduo Arenoso Fenólico de Fundição com perspectiva de incorporação em materiais cimentícios. Universidade do Extremo Sul Catarinense (Unesc), 2012.

OCDE. Déchets solides. In: L'état de L'environnement. 1993. MONOGRAPHIES SUR L'ENVIRONNEMENT, p. 171-185, Paris.

OLIVEIRA, T. M. N. de; COSTA, R. H. R. da. Areia de fundição: uma questão ambiental. 1996. 25f. Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y ambiental, México.

PARK, CHONG-LYUCK; KIM, BYOUNG-GON; YU, YOUNGCHUL. The regeneration of waste foundry sand and residue stabilization using coal refuse. Journal of Hazardous Materials, vol. 203– 204, 2012, p. 176– 182.

PINTO, Fernando Batista. O uso de areia de fundição (ADF) na produção de concreto. 2013. 82p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Itajubá.

SCHEUNEMANN, R. Regeneração de Areia de fundição através de tratamento químico via processo Fenton. 2005. 85f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina.

SIDDIQUE, Rafat; SCHUTTER, Geert de; NOUMOWE, Albert. Effect of used-foundry sand on the mechanical properties of concrete. Construction and Building Materials, p. 976-980, 2009.

SIDDIQUE, RAFAT; SINGH, GURPREET. Utilization of waste foundry sand (WFS) in concrete manufacturing. Resources, Conservation and Recycling, Vol.55, p. 885-892, 2011.

SINGH, GURPREET; SIDDIQUE, RAFAT. Effect of waste foundry sand (WFS) as partial replacement of sand on the strength, ultrasonic pulse velocity and permeability of concrete. Construction and Building Materials, Vol. 26, 2012, p. 416–422.

Silva, V. S.; Liborio, J. B. L. Estudo da microestrutura da interface argamassa/substrato de concreto através da microscopia eletrônica de varredura (MEV). 2002. Laboratório de Materiais Avançados à Base de Cimento - Departamento de Engenharia de Estruturas, EESC/IFSC/IQSC – Universidade de São Paulo, 2002.