

REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUO SÓLIDO INDUSTRIAL, CONSTITUÍDO POR AREIA DE FUNDIÇÃO RESIDUAL, NA PRODUÇÃO DE CONCRETO

Raquel Cavalli*
Loivo Bertoldi**

RESUMO

Estima-se uma produção aproximada de três milhões de toneladas de areia de fundição no País. Esta representa o maior volume de produção de resíduos sólidos industriais, no entanto, seu reaproveitamento é muito baixo. Esse material é caracterizado como um passivo ambiental, poluidor do solo e das águas superficiais e subterrâneas. Por meio desse breve contexto, com este relatório teve-se como objetivo analisar a possibilidade de inserir a areia residual de fundição como uma nova adição na produção de concreto, verificando, dessa forma, qual é a sua influência direta e indireta nas propriedades físicas do concreto e buscando novas formas de reaproveitamento desse material. Desse modo, foram dosados diferentes traços com teores de areia de fundição (0, 10, 15, 20, 25, 30 e 35%) em substituição à areia natural. A análise dos resultados baseou-se na trabalhabilidade das misturas e na resistência à compressão. Os resultados deste trabalho mostraram que o emprego da areia de fundição na produção do concreto não é recomendado sem o uso de aditivo superplastificante a partir da adição de 20% de areia de fundição, uma vez que há aumento de demanda de água e redução da resistência à compressão, conforme se aumenta a quantidade de material fino na mistura e a relação água/cimento é mantida. Mediante tais resultados, verifica-se que é possível a inserção da areia de fundição como uma adição na produção de concreto, no entanto, faz-se necessário o uso de aditivo superplastificante na mistura, a fim de melhorar suas propriedades mecânicas.

Palavras-chave: Areia de fundição. Concreto. Reaproveitamento. Resistência.

1 INTRODUÇÃO

Na atualidade, praticamente toda a atividade econômica gera resíduo, com quantidades variáveis e características próprias. A indústria de fundição tem como principal resíduo no seu processo produtivo a areia de fundição, com estimativas da ordem de 80% das peças fundidas produzidas utilizam moldes feitos de areia aglomerada que geram esse resíduo (ARMANGE, 2005).

O desenvolvimento industrial do País, passa pela indústria de fundição, e com o crescimento desta, amplia-se a geração de resíduos, principalmente com areia residual nos processos de fundição (ARMANGE, 2005).

A areia de fundição, muitas vezes é descartada em aterros sanitários industriais, conforme preconiza a legislação vigente, os quais não podem ser considerados uma destinação definitiva, pois é um passivo ambiental e pode contaminar tanto o solo quanto a água se o manejo não for feito de forma adequada (AMARAC et al., 2013).

Além de sua destinação se tratar de um problema ambiental, esta gera um incremento considerável na variável econômica do processo produtivo e, por consequência, no custo final do produto (WATANABE, 2004).

A areia de fundição é um subproduto gerado pelas indústrias de fundição de materiais ferrosos e não ferrosos. As indústrias utilizam a areia de fundição para a composição dos moldes, machos e núcleos para a fabricação de peças de metal. Após ser utilizada, a areia de fundição é reciclada para ser reutilizada novamente. Quando a areia não possuir

* Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade do Oeste de Santa Catarina de São Miguel do Oeste; raquel_cavalli@hotmail.com

** Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Regional de Blumenau; Professor na Universidade do Oeste de Santa Catarina de São Miguel do Oeste; loivo.bertoldi@unoesc.edu.br

mais as propriedades necessárias para ser reutilizada, é descartada e passa a ser chamada de “areia de fundição” (PENJAITIS, 2012).

O componente principal da areia de moldagem utilizado para a fundição de metais é um agregado fino, puro, sem composição química, com granulometria entre 0,05 mm e 2 mm de diâmetro. Existem alguns tipos que são mais usados na indústria de fundição, sendo: areia de sílica (SiO_2), de olivina ($(\text{MgFe})_2\text{SiO}_4$), de zirconita (ZrSiO_4) e de cromita (FeCr_2O_4). Porém, por existir em abundância na natureza, a areia de sílica é a mais usada. Para garantir a manutenção da forma dos machos e das cavidades internas durante a fundição são misturados ligantes e aglomerantes (MARCON, 2013).

Existem estudos recentes do emprego da areia de fundição na construção civil. Esses estudos visam identificar as propriedades de resistência à compressão dessa areia e a sua trabalhabilidade no concreto (PENJAITIS, 2012).

A utilização da areia de fundição como agregado miúdo possibilita a redução de recursos naturais, da energia na extração e do transporte da matéria-prima e, conseqüentemente, aumenta a vida útil dos aterros sanitários e industriais em razão da redução dos volumes ocupados pelos resíduos, gerando, assim, redução dos custos totais da construção de habitações (PENJAITIS, 2012).

Em decorrência dos elevados custos envolvendo os sistemas regenerativos da areia para as indústrias de fundição de médio e pequeno portes, o reuso da areia de fundição ajuda a amenizar os problemas causados pelos excedentes de resíduos.

O termo reuso, neste trabalho, refere-se ao reaproveitamento de resíduo sólido industrial constituído por areia de fundição residual na produção de concreto.

Nesse contexto, com este trabalho objetivou-se analisar a possibilidade de inserir a areia residual de fundição como uma nova adição na produção de concreto, verificando, dessa forma, qual é a sua influência direta e indireta nas propriedades físicas do concreto, buscando novos recursos sob as variáveis técnicas desse material.

2 MATERIAIS

Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade do Oeste de Santa Catarina (Unoesc), situada no Município de São Miguel do Oeste. Todos os ensaios foram realizados conforme as normas vigentes da ABNT.

2.1 CIMENTO

O cimento escolhido para a realização dos ensaios foi o cimento Portland CP II Z – 32 utilizado na produção de concreto. Na amostra ensaiada verificou-se uma massa específica de $2,844 \text{ g/cm}^3$. Além do ensaio realizado, pode-se observar as características físicas e químicas fornecidas pelo fabricante, como consta na Tabela 1:

Tabela 1 – Características físicas e químicas do cimento empregado

Características	CP II Z 32
Finura na peneira # 200 (%)	≤ 12
Finura na peneira # 325 (%)	-
Blaine (cm ² /g)	≥ 2600
Tempo de início de pega (h:min)	≥ 1
Tempo de fim de pega (h:min)	≤ 10
Expansibilidade a quente (mm)	≤ 5
Resistência à compressão em 1 dia (MPa)	-
Resistência à compressão em 3 dias (MPa)	≥ 10
Resistência à compressão em 7 dias (MPa)	≥ 20
Perda ao fogo (%)	≤ 6,5
Resíduo insolúvel (%)	≤ 16
MgO (%)	≤ 6,5
SO ₃ (%)	≤ 4

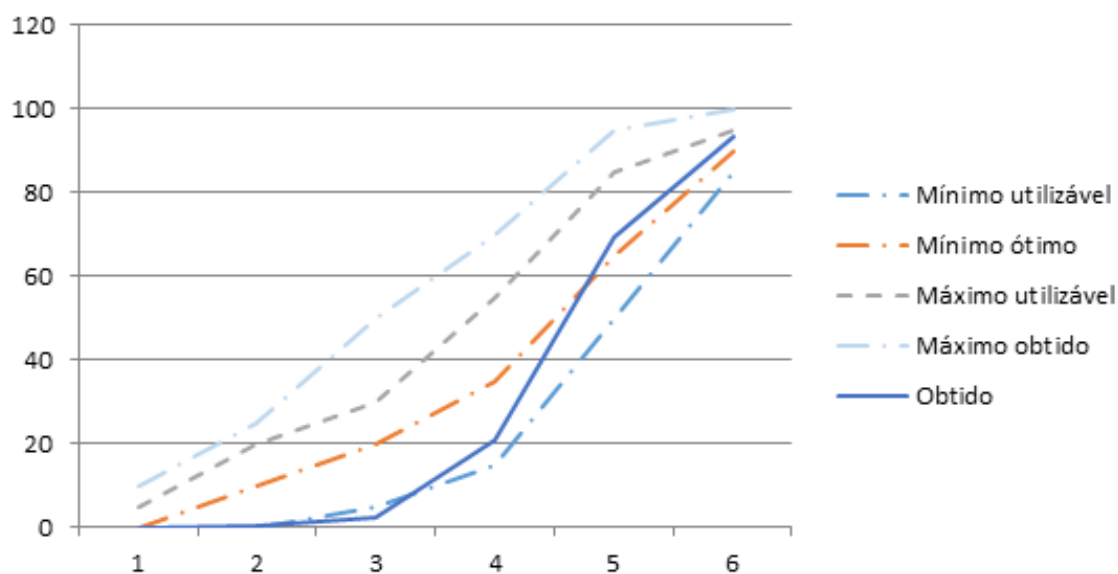
Fonte: Cimento.org (2015).

2.2 AREIA NATURAL

A areia natural utilizada como referência no trabalho possui um módulo de finura 2,865 e massa específica aparente igual a 2,55 g/cm³. No Gráfico 1 está exposta sua curva granulométrica. A areia natural apresenta uma porcentagem de material pulverulento de 3,192%.

Conforme os dados obtidos por meio da composição granulométrica da areia, identifica-se, por meio do Gráfico 1, que a curva da areia ensaiada se encontra dentro dos parâmetros limites utilizáveis estabelecidos por norma.

Gráfico 1 – Curva granulométrica da areia natural



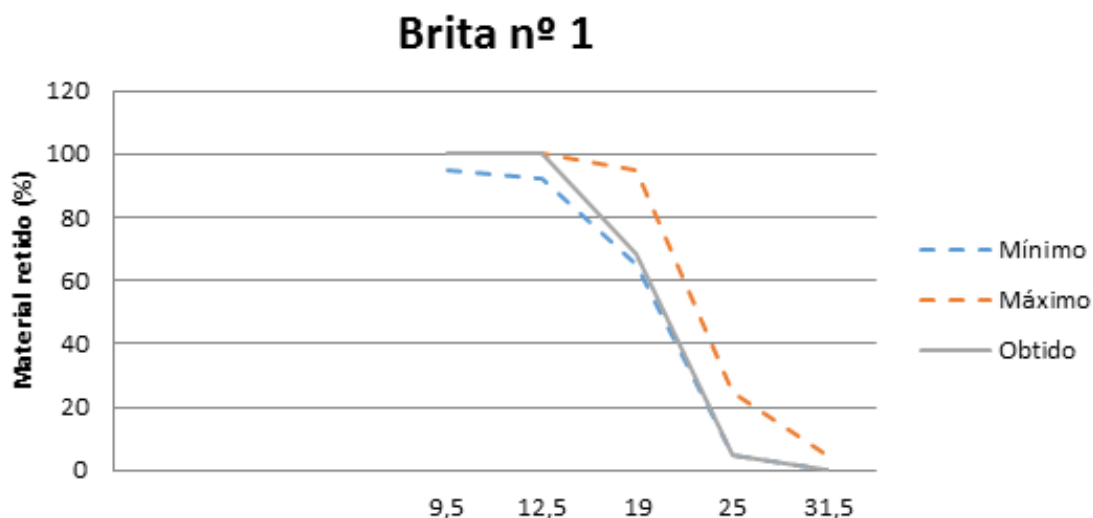
Fonte: os autores.

2.3 BRITA

A brita utilizada como referência na confecção dos concretos tem como origem uma jazida localizada em São Miguel do Oeste. Possui uma massa específica aparente de $3,006 \text{ g/cm}^3$ e módulo de finura 2,00, e sua curva granulométrica pode ser observada no Gráfico 2. A brita ensaiada apresentava um percentual de material pulverulento de 0,533%.

Conforme os dados obtidos mediante a composição granulométrica do agregado graúdo, identifica-se, por meio do Gráfico 2, que a curva do agregado graúdo ensaiado se encontra dentro dos parâmetros limites utilizáveis estabelecidos por norma. Além de ser possível observar que esta possui um diâmetro máximo característico de 25 mm.

Gráfico 2 – Curva granulométrica da brita

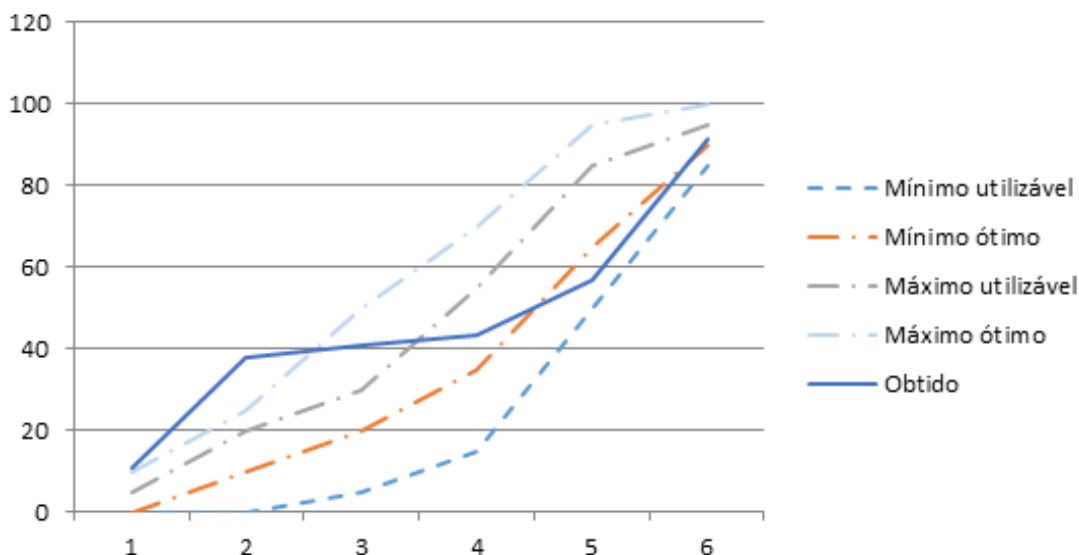


Fonte: os autores.

2.4 CARACTERIZAÇÃO DA AREIA DE FUNDIÇÃO

A areia utilizada como adição na confecção dos concretos foi fornecida por uma empresa que possui sede em Pinhalzinho, SC. Essa areia empregada não possui resinas fenólicas em sua mistura, porém utiliza a bentonita como aglutinante. Possui massa específica aparente de $1,839 \text{ g/cm}^3$ e um módulo de finura de 3,815. Sua curva granulométrica pode ser analisada no Gráfico 3.

Gráfico 3 – Curva granulométrica da areia de fundição.



Fonte: os autores.

Conforme os dados obtidos mediante a composição granulométrica da areia de fundição, identifica-se, por meio do Gráfico 3, que a curva da areia de fundição ensaiada se encontra dentro dos parâmetros limites utilizáveis estabelecidos por norma.

No ponto em que a curva se encontra fora dos limites utilizáveis, é justificável. A areia de fundição ensaiada teve suas características alteradas, ou seja, ela não foi moída e não foi realizada a retirada dos materiais presentes. Justifica-se, com isso, a análise de sua utilização na produção de concreto com suas características reais, sem passar por outro processo.

Também foram analisadas suas características químicas, que podem ser observadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Características químicas da areia de fundição

Argila %	pH	Índice SMP	P mg/L	K mg/L	M. O. %
18,0	8,2	7,5	7,9	134,0	4,1

Fonte: Laboratório de análises de solos e tecido vegetal.

Tabela 3 – Características químicas da areia de fundição

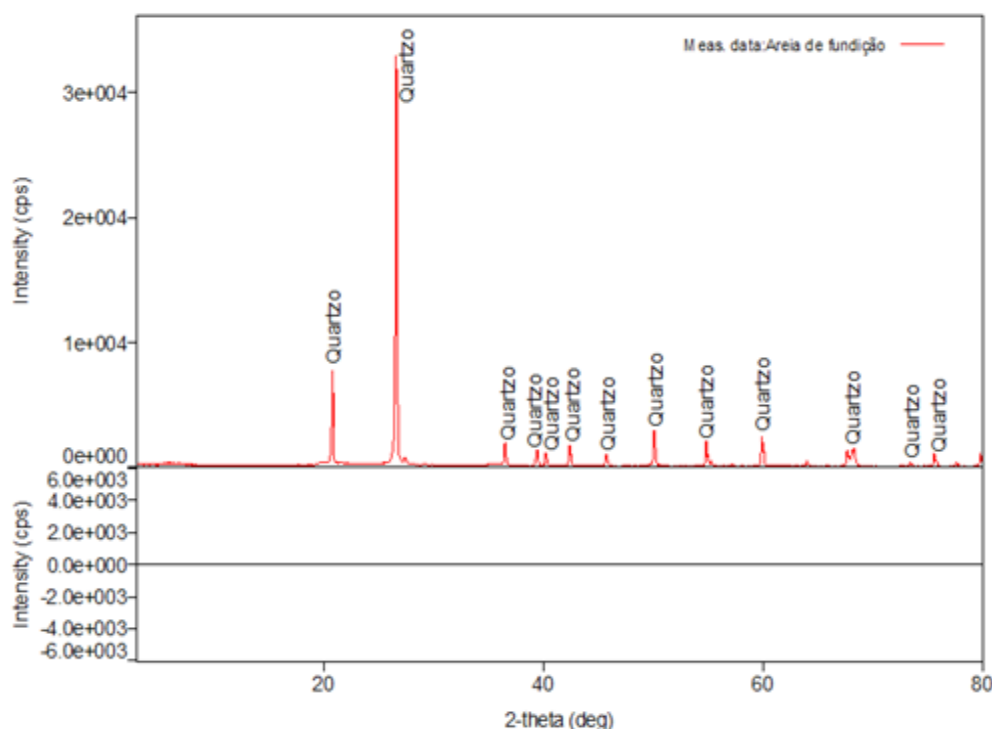
S mg/L	Zn mg/L	Cu mg/L	B mg/L	Mn mg/L	Fe %
19,5	6,7	5,4	0,4	0	

Fonte: Laboratório de análises de solos e tecido vegetal.

Observando-se as Tabelas 2 e 3, identifica-se que a composição da areia de fundição se ensaiada constitui basicamente em argila e matéria orgânica.

As amostras de areia de fundição foram submetidas à análise de difração de raios-X em difratômetro *Paranalytical Empryan*, utilizando radiação $\text{CuK}\alpha$ com 40 kV no intervalo de 5° a 70° de 2θ , com passos de $0,02^\circ$ e tempo de contagem de 10 segundos. De acordo com este ensaio, a areia de fundição é constituída basicamente por quartzo (SiO_2) (Figura 1).

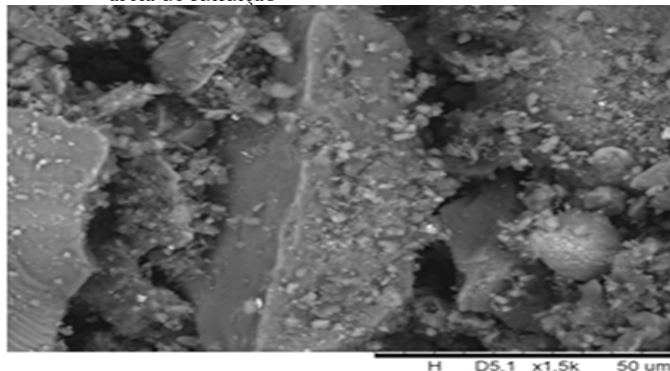
Figura 1 – Difratometria de raios-X da amostra de areia de fundição



Fonte: Universidade Tecnológica Federal do Paraná (2016a).

Observa-se na Figura 2 uma imagem de alta resolução da superfície da amostra da adição mineral de areia de fundição. Nota-se na imagem de microscopia eletrônica de varredura (MEV) que as partículas da areia de fundição são grandes e possuem formatos irregulares e angulosos, diferentes de outros tipos de adições como, por exemplo, a Cinza Volante, que é constituída por partículas esféricas e menores.

Figura 2 – Imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) da areia de fundição



Fonte: Universidade Tecnológica do Paraná (2016b).
Nota: Aumentado em 1500x.

3 MÉTODOS

Com a ideia de analisar o desempenho da areia de fundição em alguns de seus possíveis empregos, foram elaborados os métodos e realizados os ensaios descritos a seguir. Nessa análise observou-se apenas uma aplicação.

A areia de fundição utilizada nas análises e ensaios teve origem na empresa Fundição Steffens e Canal, sediada na Cidade de Pinhalzinho, SC.

A metodologia utilizada segue as seguintes etapas:

- a) primeira etapa: a partir da coleta de areia de fundição originária da empresa Steffens e Canal, bem como de areia natural e agregado graúdo (brita) do comércio local, foi procedida a classificação e caracterização física dos agregados, haja vista que as características do cimento eram conhecidas;
- b) segunda etapa: a partir da caracterização física dos agregados, controle de qualidade da água e adição de cimento conforme caracterização e recomendações do fabricante, foram dimensionados traços de concreto;
- c) terceira etapa: a partir da dosagem dos agregados com diferentes materiais e diferentes proporções, foram moldados corpos de prova. Estes, após cura úmida, foram expostos a cargas de compressão para verificação de sua resistência;
- d) quarta etapa: análise dos resultados e recomendação de percentual de areia de fundição a ser adicionada no concreto com quantidade ótima.

Para tanto, foram utilizadas as normas vigentes da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) para suporte na metodologia deste trabalho, bem como na execução dos ensaios de caracterização física dos materiais.

3.1 EMPREGO DA AREIA DE FUNDIÇÃO EM CONCRETOS PLÁSTICOS

Para avaliar a qualidade da areia de fundição empregada na confecção de concretos plásticos realizaram-se ensaios com o objetivo de observar os efeitos causados por tal resíduo comparando-se com a areia natural referência.

O traço utilizado para a confecção do concreto foi obtido pelo método da ABCP, considerando as características dos agregados analisados. A partir dos cálculos foram encontrados os valores do consumo de concreto por metro cúbico, o qual está representado na Tabela 4.

Tabela 4 – Consumo do traço de concreto por metro cúbico

Consumo do traço			
Cimento	Areia	Brita	Água
484,21	747,9	874,00	230

Fonte: os autores.

O cimento utilizado nas misturas foi o CP II Z 32. Por intermédio do traço estimou-se um percentual que seria acrescentado de areia de fundição na mistura. Esta foi definida em 10, 15, 20, 25, 30 e 35% de areia de fundição a serem acrescentados, ou seja, ao acrescentar tal porcentagem de areia de fundição, foi retirada essa mesma porcentagem de areia natural.

3.2 MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS

Foram moldados 63 corpos de prova, nove para cada porcentagem e nove para o traço referência, dos quais três para cada idade. As porcentagens utilizadas foram 10, 15, 20, 25, 30 e 35%. As idades observadas foram 7, 14 e 28 dias.

Os corpos de prova foram moldados em moldes cilíndricos metálicos. A superfície interna dos moldes foi previamente untada com óleo mineral.

O concreto foi lançado dentro dos moldes em duas camadas de alturas iguais; em cada camada foram distribuídos homogeneamente 12 golpes com uma haste metálica. Após os golpes da última camada serem realizados, distribuíram-se leves golpes nas laterais do molde, a fim de eliminar qualquer vazio, então procedeu-se a regularização da face superior dos corpos de prova.

Finalizada a moldagem, os corpos de prova foram armazenados em uma bancada por 24 horas, com a face superior protegida por um papel filme. Passado o período inicial de cura, os corpos de prova foram desmoldados, identificados e imersos em um tanque com água, a uma temperatura de ± 25 °C, permanecendo imersos até a data de rompimento à compressão (7, 14 ou 28 dias).

Antes do rompimento os corpos de prova foram retificados, com o objetivo de regularizar as superfícies.

3.3 ENSAIOS

Os ensaios realizados com cada porcentagem de areia de fundição foram os seguintes:

1. *Slump test*: após a preparação do concreto realizou-se o *slump test*. Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (1998), o ensaio consiste em preencher o molde com o concreto do ensaio, em três camadas de mesma altura e com a haste metálica, e aplicar 25 golpes uniformes e distribuídos homogeneamente, em cada camada. Deve-se lembrar que ao proceder os golpes a haste deve penetrar toda a espessura da camada superior; no entanto, os golpes realizados devem penetrar superficialmente a camada inferior. Após essa operação, retira-se o excesso de material da face superior do molde, alisando a superfície. Em seguida é feita a retirada do molde, lembrando que esta deve ser feita na vertical, com tempo de 5 a 10 s. Logo após a retirada do molde, faz-se a medição do abatimento do concreto, por meio da diferença entre a altura do molde e a altura do eixo do corpo de prova.
2. Resistência à compressão: rompimento de corpos de prova cilíndricos de 10x20 cm à compressão com 7, 14 e 28 dias de idade. A NBR 5739 (ABNT, 2007) expõe que corpos de prova a serem ensaiados devem atender à relação altura/diâmetro (h/d), a qual não deve passar de 2,02 e caso for inferior a 1,94 deve-se fazer correções. Antes de iniciar o ensaio, conforme a NBR 5738 (ABNT, 2003), as bases dos corpos de prova devem ser preparadas, tornando as superfícies planas, o que pode ser feito por remate com pasta de cimento, retificação ou

capeamento. Neste trabalho, a preparação da base ocorreu por meio da retificação, que consiste na remoção de uma fina camada de material do topo do corpo de prova por meio mecânico; a retificação deve assegurar a integridade estrutural das camadas adjacentes a aquelas removidas, proporcionando uma superfície lisa e livre de imperfeições.

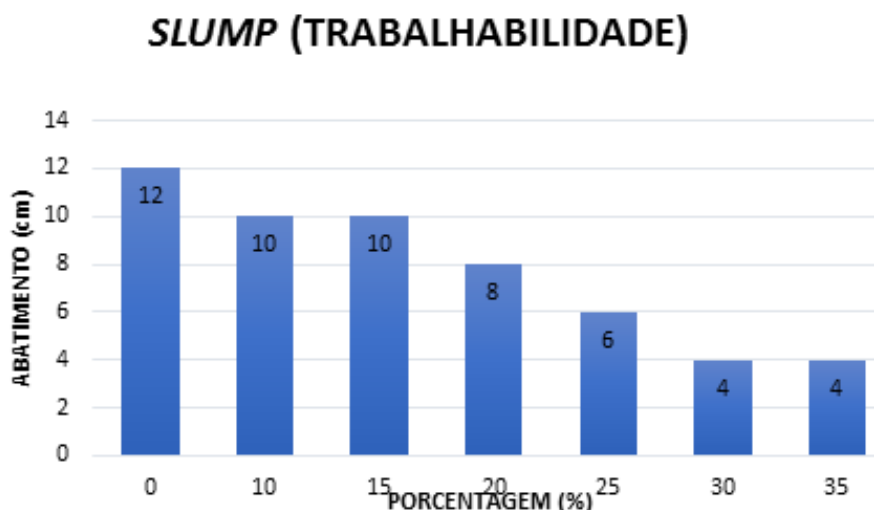
4 RESULTADOS

Mediante os ensaios realizados para o emprego da areia de fundição em concreto, obtiveram-se alguns resultados que serão discutidos a seguir.

4.1 EMPREGO EM CONCRETOS PLÁSTICOS

Para o estudo do concreto plástico, foi realizado, no estado fresco, o *slump test* para a medida de consistência de todas as misturas de concreto. Como a relação água/cimento estabelecida para as seis amostras e a areia natural e a areia de fundição possuíam módulo de finura diferentes, o maior índice de consistência (*slump test*) indica uma areia que confere mais plasticidade ao concreto, e, portanto, conforme aumenta a porcentagem de areia de fundição, mais água demanda para a produção de concreto plástico. Os resultados do *slump test* estão apresentados no Gráfico 4.

Gráfico 4 – Índice de consistência do concreto fresco



Fonte: os autores.

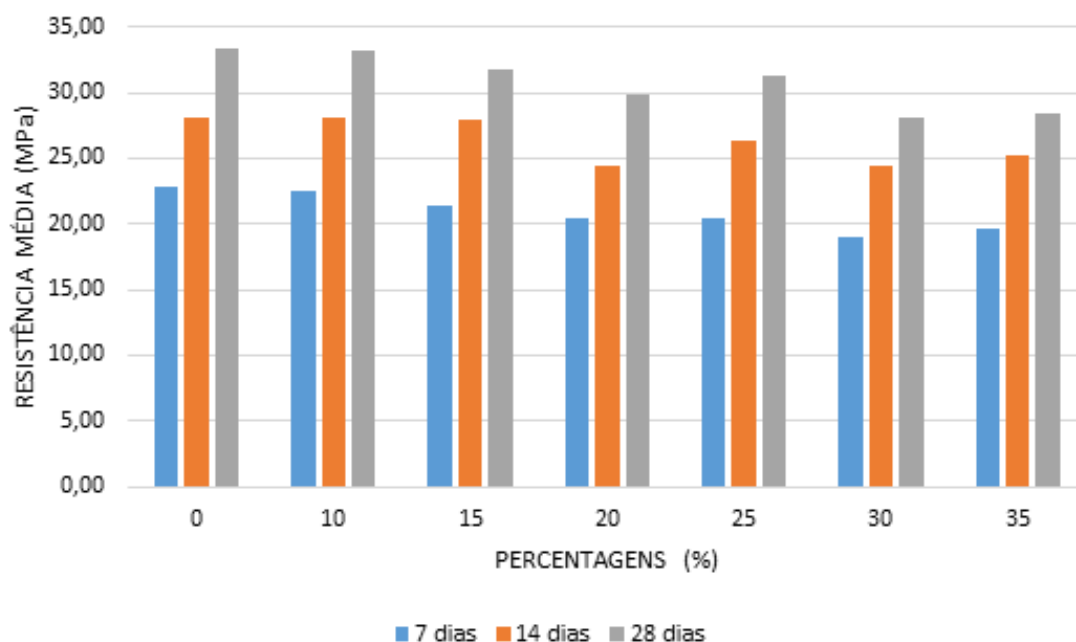
Conforme o Gráfico 4, as porcentagens de 10, 15 e 20% de areia de fundição em substituição à areia natural apresentaram um índice de consistência entre 100 e 80 mm. As porcentagens de 25, 30 e 35% de areia de fundição apresentaram baixa consistência, variando de 60 a 40 mm. Já a amostra de referência (100% areia natural) apresenta um índice de consistência de 120 mm.

Com os resultados encontrados para adições de areia de fundição sem a utilização de aditivos plastificantes, as porcentagens ideais para utilização em concretos plásticos são as adições de 10, 15 e 20%.

Esses resultados indicam que a areia de fundição demanda maior quantidade de água do que a areia natural usualmente utilizada. Essa demanda é caracterizada pela maior presença de material fino e argiloso presente na mistura da areia de fundição.

Em relação às propriedades do concreto endurecido, foram rompidos corpos de prova à compressão aos 7, 14 e 28 dias de idade, e as resistências encontradas são apresentadas no Gráfico 5.

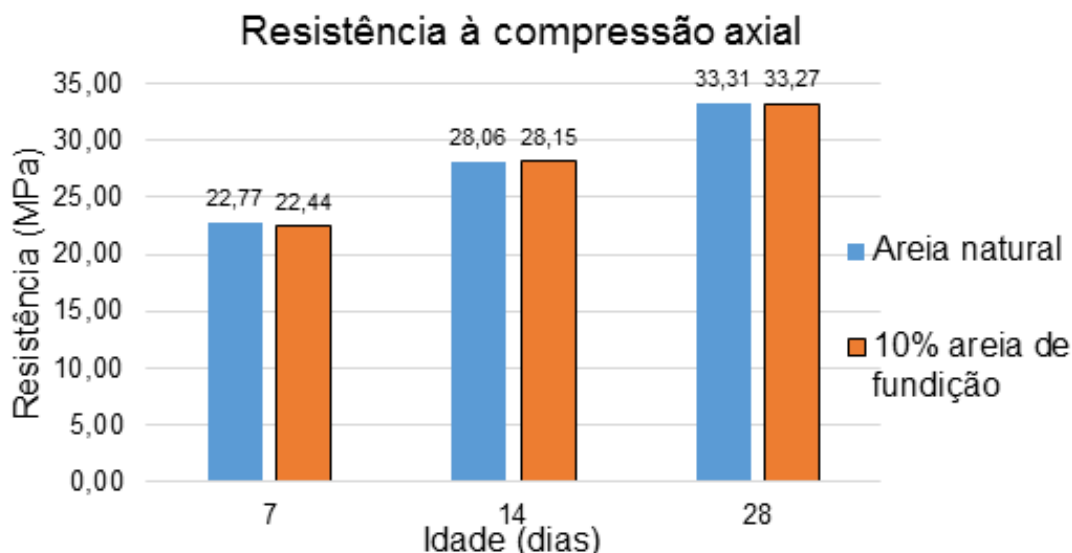
Gráfico 5 – Resistência à compressão do concreto



Fonte: os autores.

Analisando-se o Gráfico 5 é possível verificar que, das porcentagens empregadas, a adição de 10 e 15% de areia de fundição é satisfatória, pois não há grandes oscilações nas resistências das diferentes idades. No Gráfico 6, observa-se a pouca variação de resistência entre o traço base (0% de areia de fundição) e ao traço com adição de 10% de areia de fundição.

Gráfico 6 – Resistência à compressão axial – areia natural x 10% de adição



Fonte: os autores.

Pode-se comparar a resistência obtida com a trabalhabilidade (*slump test*). A baixa resistência pode ter ocorrido, também, por uma moldagem defeituosa, em razão da trabalhabilidade que essas misturas apresentavam, resultando em uma menor resistência e aumentando os vazios presentes na amostra.

Também se deve lembrar que não foram adicionados aditivos plastificantes nas porcentagens de adições de areia de fundição. Caso fosse adicionado algum aditivo plastificante, possivelmente seriam obtidas mais porcentagens satisfatórias.

5 CONCLUSÃO

Sobre o uso da areia de fundição como adição no concreto, foi possível observar que ela não altera as características mecânicas do concreto à compressão. No entanto, o fato de não ter sido utilizado aditivo superplastificante influenciou na resistência das porcentagens acima de 25%. Tanto no estado fresco quanto no estado endurecido do concreto foi possível identificar a influência causada pelo material fino (areia de fundição) sem o uso de aditivos superplastificantes. Em comparação com a amostra de referência, foi possível destacar que em até 20% de adição de areia de fundição, sem uso de aditivos, não ocorreu redução nas características mecânicas do concreto. Ressalta-se a importância de realizar estudos mais aprofundados para analisar se há impacto ao meio ambiente quando da adição da areia de fundição ao concreto, como a lixiviação desse material.

Reuse of industrial solid residue, constituted by residual foundry sand, in the production of concrete

Abstract

It is estimated a production of about three million tons of foundry sand in the country. It represents the largest volume of production of industrial solid waste, however, the reuse of this material is very low. This material is characterized as an environmental liability, polluting soil and surface and groundwater. Through this brief context, with this report the aim was to analyze the possibility of inserting the residual foundry sand as a new addition in concrete production, verifying, that way, which is its direct and indirect influence on the physical properties of the concrete, seeking new ways to reuse this material. Thus, different traits were measured with foundry sand levels (0, 10, 15, 20, 25, 30 and 35%) to replace natural sand. The analysis of the results was based on the mixtures workability and compressive strength. The results of this study showed that the use of the foundry sand in the production of concrete is not recommended without the use of superplasticizer from the addition of 20% of foundry sand, since there is an increase of the demand of water and decrease of compressive strength, with increasing amount of the fine material mixture and the water/cement relation is maintained. Through these results, it is verified that the insertion of the foundry sand can be as an addition in concrete production, however it is necessary the use of superplasticizer in the mixture in order to improve its mechanical properties.

Keywords: Foundry sand. Concrete. Reutilization. Resistance.

REFERÊNCIAS

AMARAL, M. B. et al. **Estudo para utilização de areia de fundição em blocos de pavimentos intertravados**. 2013. Disponível em: <<https://www.revistas.unijui.edu.br/index.php/salaconhecimento/article/viewFile/1945/1610>>. Acesso em: 20 set. 2014.

ARMANGE, L. C. **Utilização de areia de fundição residual para uso em argamassa**. 2005. 104 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais)–Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

CIMENTO.ORG. **Características físicas e químicas do cimento empregado**. Brasília, DF. Disponível em: <<http://cimento.org/cp-ii-z-32-cimento-portland-composto-com-pozolana/>>. Acesso em: 04 ago. 2015.

MARCON, M. F. **Aproveitamento da areia de fundição como agregado miúdo fino em concretos**. 2013. 69 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil)–Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/115449>>. Acesso em: 02 maio 2015.

PENJAITIS, G. **Impacto ambiental gerado pela disposição de areias de fundição**: estudo de caso. 2012. 93 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental)–Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://www.iee.usp.br/producao/2012/Teses/Gabriela%20Penkaitis%20corrigida.pdf>>. Acesso em: 02 maio 2015.

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. **Difratometria de Raios-X da amostra de areia de fundição**. Pato Branco, 2016a.

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ **Imagens de microscopia eletrônica de varredura – MEV da areia de fundição**. Pato Branco, 2016b.

WATANABE, F. A. **Estudo sobre a utilização de areia de fundição residual como agregado na confecção de pavimentos de concreto**. 2004. 121 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)–Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2004.

