

## CARACTERIZAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO CONVENCIONAL COM AREIA DE FUNDIÇÃO

Tatiane Todt (1)  
Kássia Thamara Santos Koslowski (1)  
Joelcio Luiz Stocco (2)  
Helena Ravache Samy Pereira (3)

(1)Graduanda em Engenharia Civil, Centro Universitário de Santa Catarina  
(2)Professor Mestre, Centro Universitário Católica de Santa Catarina e UNISUL  
(3)Professora Doutora, Centro Universitário Católica de Santa Catarina  
[helena.pereira@catolicasc.org.br](mailto:helena.pereira@catolicasc.org.br)

### RESUMO

*A indústria metalúrgica gera uma grande quantidade de resíduos durante o processo de fundição. O uso da areia de fundição em substituição parcial a areia natural no concreto contribui para o meio ambiente através da minimização do descarte deste resíduo. Este artigo tem por objetivo geral caracterizar o concreto convencional com areia de fundição em relação à resistência à compressão e a trabalhabilidade. Os materiais utilizados na produção do concreto foram cimento CP-IIIF, brita nº 1, areia média proveniente de leito de rio e areia de fundição de uma empresa da região de Jaraguá do Sul/SC. Os agregados foram caracterizados através dos ensaios de distribuição granulométrica, teor de material pulverulento, massa específica e massa unitária. Para analisar as propriedades foram dosados e produzidos quatro traços de concreto convencional com as porcentagens de 0%, 10%, 20% e 30% de areia de fundição em substituição parcial a areia natural em massa. Os corpos de prova foram rompidos com idade de 14 dias e 28 dias. As misturas de concreto apresentaram consistência plástica, pois o abatimento de tronco de cone ficou entre 80mm e 100mm. Os resultados obtidos para a propriedade resistência à compressão aos 28 dias são adequados para até 10% de incorporação do resíduo. Para as demais misturas, o valor da resistência à compressão não atinge o valor calculado na dosagem do traço devido à necessidade de maior quantidade de água adicionada para que a trabalhabilidade possa ser atingida.*

Palavras-chave: resistência à compressão; concreto; areia de fundição.

### INTRODUÇÃO

Atualmente, o índice de consumo do concreto é muito maior comparado ao consumo de 40 anos atrás. Estima-se que o consumo atual de concreto no mundo seja da ordem de 11 bilhões de toneladas ao ano<sup>(1)</sup>.

Os agregados ocupam em torno de 60% a 80% do volume do concreto e tem influência nas propriedades do concreto endurecido como resistência, estabilidade

dimensional e durabilidade. Além dessas propriedades importantes, os agregados também tem papel relevante na determinação do custo e trabalhabilidade das misturas de concreto.

Neste contexto surge como alternativa o uso da areia de fundição em substituição parcial a areia natural no concreto convencional. Atualmente, devido às novas políticas ambientais, existe uma preocupação em relação ao destino dos resíduos industriais gerados. Na construção civil, o aproveitamento de resíduos torna-se vantajoso ambientalmente e economicamente, pois é possível produzir materiais adequados ao uso com um custo mais reduzido. Os estudos sobre concreto sustentável incluem aquele que se dispõe a consumir rejeitos industriais. Os rejeitos da indústria metalúrgica podem ser incorporados em materiais cimentícios de forma geral<sup>(2-8)</sup>.

A pesquisa tem por objetivo caracterizar a resistência à compressão do concreto convencional com areia de fundição em substituição parcial a areia natural possibilitando, desta forma, diretrizes sobre o uso deste resíduo.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### Materiais utilizados

Para o desenvolvimento experimental da pesquisa foram utilizados os seguintes materiais: cimento Portland (CPII-32F), agregado graúdo comercializado como brita 1, agregado miúdo comercializado como areia comum, areia de fundição proveniente da empresa WEG Equipamentos Elétricos S.A., aditivo superplastificante DARACEM (Grace Brasil) e água proveniente da rede de abastecimento do Centro Universitário Católica de SC de Jaraguá do Sul.

### Métodos utilizados

A pesquisa foi dividida em quatro etapas, conforme mostra a Tab. 01.

Tabela 01 - Etapas da pesquisa

<i>Etapa</i>	<i>Descrição</i>
1	Caracterização dos agregados
2	Dosagem dos concretos
3	Produção dos concretos
4	Caracterização dos concretos

Fonte: Os autores, 2015

A caracterização dos agregados, tanto do agregado miúdo (areia e resíduo) quanto do agregado graúdo (brita 1), foi realizada por procedimentos experimentais normalizados conforme especificações da Tab. 02.

Tabela 02 – Ensaios utilizados para a caracterização dos agregados

<i>Ensaio</i>	<i>Tipo de agregado</i>	<i>Norma</i>
Determinação da distribuição granulométrica	Graúdo e Miúdo	NBR NM 248(2003) <sup>9</sup>
Determinação do teor de materiais pulverulentos	Graúdo e Miúdo	NBR NM 46(2003) <sup>10</sup>
Determinação da massa específica	Miúdo	NBR NM 52(2009) <sup>11</sup>
	Graúdo	NBR NM 53(2009) <sup>12</sup>
Determinação da massa unitária	Graúdo	NBR NM 45(2006) <sup>13</sup>

Fonte: Os autores, 2015

Após a caracterização dos agregados utilizados na produção dos concretos foi realizado o cálculo de quatro traços de concreto convencional, com as porcentagens de 0%, 10%, 20% e 30% de areia de fundição em substituição parcial a areia natural em massa.

Os métodos de dosagem utilizados foram o proposto pela ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) e o método racional e experimental. Iniciou-se o processo primeiramente com a determinação do  $F_{ck}$  definido pelos autores com valor igual a 25 MPa. O desvio padrão ( $S_d$ ) adotado segue a norma NBR 12655(2015)<sup>14</sup>, seguindo a condição que determina um desvio padrão de 4 MPa.

Utilizando o método da ABCP foi determinado o valor de  $F_{ci}$ , a relação de água/cimento, o consumo de água, de cimento, agregado graúdo e o consumo de areia, originando no traço a seguir (ver Eq. A):

$$1 : 1,53 : 2,88 : 0,50 \quad (A)$$

*cimento : areia : brita : água*

Posteriormente, com o método racional e experimental foram feitas as devidas correções indicando o teor de argamassa, sempre mantendo a relação água/cimento, mudando assim, a quantidade de areia e agregado graúdo (ver Eq. B).

$$(136,16 : 303,66 : 355,95 : 204,23) \quad (B)$$

Assim, o cálculo do traço é realizado para uma mistura de 20 litros em massa, sendo considerado o valor da massa inicial de 1000 litros, sem a substituição parcial do resíduo (ver Eq. C).

$$8,17 : 16,09 : 19,93 : 4,08 \quad (C)$$

Colocando 10% do resíduo em substituição parcial da areia, o traço encontrado ficou de acordo com a equação D.

$$8,17 : 1,74 : 14,48 : 19,93 : 4,08 \quad (D)$$

*cimento : resíduo : areia : brita : água*

Com 20% do resíduo em substituição parcial da areia, o traço encontrado ficou de acordo com a equação E:

$$8,17 : 3,48 : 12,87 : 19,93 : 4,08 \quad (E)$$

E por fim, com 30% do resíduo em substituição parcial da areia natural, o traço ficou estabelecido de acordo com a equação F:

$$8,17 : 5,22 : 11,26 : 19,93 : 4,08 \quad (F)$$

Após a dosagem dos quatro traços do concreto, a preparação e mistura dos materiais foi realizada no laboratório, onde os agregados utilizados na produção dos concretos foram secos em estufa a uma temperatura de  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$  por um período de 24 horas. Os materiais utilizados na produção dos concretos foram misturados em uma betoneira com capacidade para 120 litros, rotação de 28 rpm e potência do motor de 1/3 CV, obedecendo a seguinte sequência de mistura (ver Tab. 03):

Tabela 03 - Sequência das misturas

<i>Etapas</i>	<i>Sequência da Mistura</i>
1	Brita + 80% água + cimento
2	Areia
3	Aditivo + 20% água

Fonte: Os autores, 2015

Foram realizadas quatro betonadas, uma para cada combinação de traço, onde cada mistura produziu 11 corpos-de-prova que foram rompidos com 14 e 28 dias de idade.

Iniciou-se com a produção do traço do concreto com a porcentagem de 0% de areia de fundição. Primeiramente foram pesados todos os materiais necessários para a mistura. Posteriormente foram colocados a brita, 80% da água e o cimento e colocados na betoneira para misturar. Em seguida, a betoneira foi desligada e a areia acrescentada. A betoneira novamente foi ligada para deixar a mistura homogênea.

Por fim, é acrescentado o aditivo em pequenas quantidades e a água foi sendo adicionada até se obter o abatimento de troco de cone desejado conforme a norma NM 67(1998)<sup>15</sup> (ver Fig. 01).

Figura 01 – Abatimento de tronco de cone



Fonte: Os autores, 2015

A medida do abatimento foi definida pelos autores da pesquisa como  $(100 \pm 20)$ mm, em função das propriedades desejadas de trabalhabilidade.

Após atingir o abatimento desejado através do *Slump Test*, foi realizado o procedimento de moldagem de acordo com a NBR 5738 (2003)<sup>16</sup>. Os moldes foram untados com uma fina camada de óleo mineral. Já untados, o concreto foi introduzido nos moldes com o auxílio de uma pá de seção U em duas camadas de volume aproximadamente igual.

A cada camada de concreto houve o adensamento manual com o auxílio de uma haste de ferro (ver Fig. 02-a), que penetrou no concreto 12 vezes. A última camada foi moldada com quantidade em excesso de concreto, de forma que ao ser

adensado complete todo o volume do molde. Posteriormente, o molde foi rasado para eliminar todo o material em excesso (ver Fig 02.-b).

Figura 02 - Moldagem corpos-de-prova (a) com adensamento manual (b) com rasamento



Fonte: Os autores, 2015

Durante as primeiras 24 horas, os corpos-de-prova permaneceram no laboratório. Após este tempo, foram desmoldados e colocados em tanques de cura, no próprio laboratório, para ser realizada a cura final.

Assim, seguiram-se da mesma forma a produção dos outros três traços do concreto com a porcentagem de 10%, 20% e 30% da areia de fundição.

Todos os procedimentos foram realizados na mesma sequência e forma de execução, diferenciando apenas por possuir o resíduo areia de fundição em substituição parcial a areia natural.

Os concretos foram caracterizados de acordo com as propriedades no seu estado fresco (consistência) e no seu estado endurecido (resistência à compressão axial).

A resistência à compressão, propriedade mecânica mais valorizada do concreto, foi determinada com a utilização da máquina da marca EMIC, modelo PC 200 de acordo com a NBR 5739 (2007)<sup>17</sup>.

Primeiramente, aos 14 dias, os corpos de prova submersos em água foram retirados do tanque de cura e, em seguida, 5 deles foram rompidos. Posteriormente, aos 28 dias, foram ensaiados mais 6 corpos de prova totalizando os 11 corpos de prova produzidos em cada mistura. Este processo de ensaio (ver Fig. 03) foi executado da mesma maneira para todas as quatro misturas. A carga foi aplicada de forma contínua, com aumento de tensão média de 0,2 a 0,35 MPa/s até que

ocorresse a ruptura do corpo-de-prova e o valor da máxima carga de ruptura foi devidamente registrado.

Figura 03 - Execução do ensaio de compressão do concreto



Fonte: Os autores, 2015

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Agregados miúdos e agregado graúdo

Os resultados do módulo de finura e diâmetro máximo referentes ao ensaio de distribuição granulométrica estão dispostos na Tab. 04.

Tabela 04 – Granulometria dos materiais

<i>GRANULOMETRIA</i>	<i>MÓDULO DE FINURA</i>	<i>DIÂMETRO MÁXIMO (mm)</i>
Areia	2,13	4,80
Brita	6,79	19,0
Resíduo	1,54	2,36

Fonte: Os autores, 2015

A Tab. 05 e Tab. 06 mostram os resultados da massa específica e do teor de material pulverulento dos agregados.

Tabela 05 – Valores das massas específicas

<i>MASSA ESPECÍFICA</i>	<i>g/cm<sup>3</sup></i>
Areia	2,65
Brita	2,83
Resíduo	2,45

Fonte: Os autores, 2015

Tabela 06 - Teor de material pulverulento

<i>TEOR DE MATERIAL PULVERULENTO</i>	<i>%</i>
Areia	4,10
Brita	0,90
Resíduo	11,27

Fonte: Dos autores, 2015

Pode-se observar que o resíduo areia de fundição foi o agregado que mais apresentou teor de material pulverulento dentre os três materiais analisados.

Já o ensaio da determinação da massa unitária do agregado graúdo (brita 1), foi executado de acordo com a norma, que resultou num valor de 1,620 kg/dm<sup>3</sup>.

### Consistência e Resistência à Compressão do Concreto

A Tab. 07 mostra os resultados obtidos para o índice de consistência das misturas de concreto.

Tabela 07 – Abatimento de tronco de cone e quantidade de água adicionada a mistura de concreto

<i>Mistura</i>	<i>Slump Test (mm)</i>	<i>Quantidade de água adicionada (l)</i>
1 – Sem resíduo	90	3,720
2 – 10% resíduo	100	4,438
3 – 20% resíduo	90	4,663
4 – 30% resíduo	90	4,701

Fonte: Os autores, 2015

A Tab. 08 mostra a média e o desvio padrão dos valores obtidos para a resistência a compressão para 14 e 28 dias.

Tabela 08 06 - Média e desvio padrão da resistência à compressão

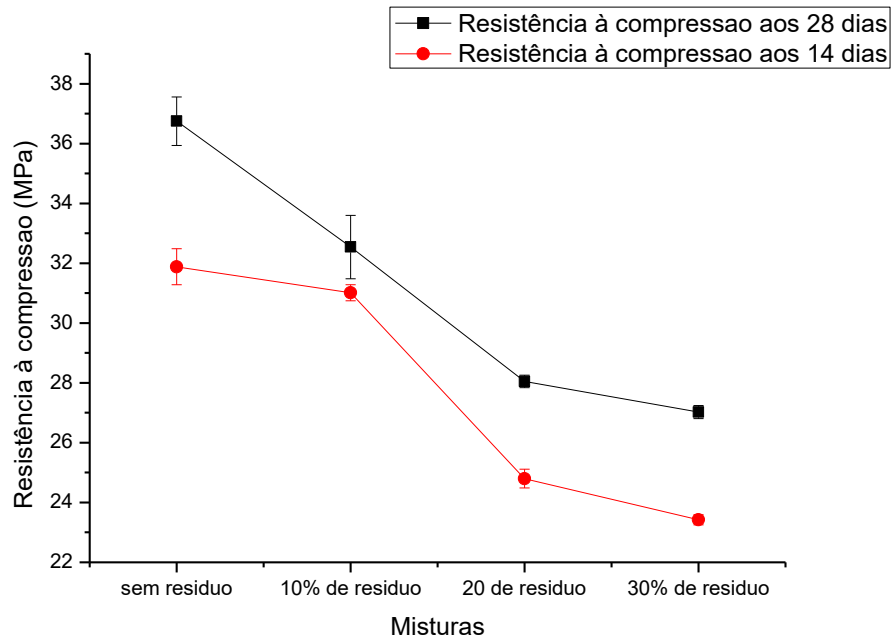
<i>Mistura</i>	<i>14 dias</i>		<i>28 dias</i>	
	<i>Resistência (MPa)</i>	<i>Desvio Padrão (MPa)</i>	<i>Resistência (MPa)</i>	<i>Desvio Padrão (MPa)</i>
1 – Sem resíduo	31,88	0,60	36,75	0,81
2 – 10% resíduo	31,01	0,27	32,54	1,06
3 – 20% resíduo	24,80	0,31	28,05	0,21
4 – 30% resíduo	23,42	0,17	27,02	0,22

Fonte: Os autores, 2015

A Fig. 04 mostra o gráfico com os valores de resistência à compressão conforme as misturas propostas.



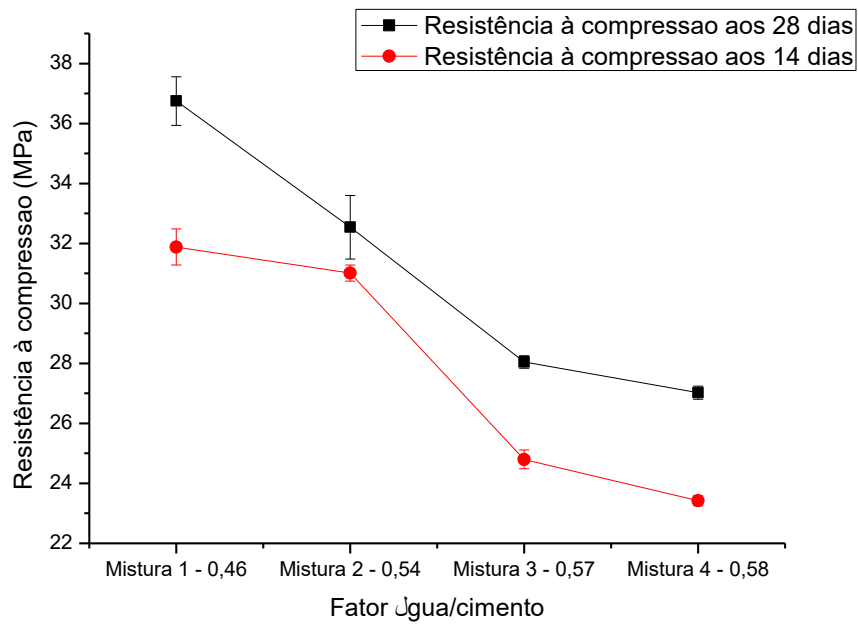
Figura 04 - Resistência à compressão versus quantidade de resíduo



Fonte: Os autores, 2015

A quantidade de água nas misturas foi definida de acordo com o *Slump Test*. Na Fig. 05 pode-se observar a variação da resistência à compressão que diminui conforme o aumento da quantidade de água adicionada as misturas.

Figura 05 - Resistência à compressão versus quantidade de água



Fonte: Os autores, 2015

## CONCLUSÕES

Dos resultados obtidos durante a pesquisa, destaca-se que as propriedades analisadas como a coesão e a trabalhabilidade foram satisfatórias, pois as misturas mostraram-se consistentes e apresentaram homogeneidade durante o manuseio, tendo em vista a análise visual das misturas.

A água acrescentada ao concreto foi a necessário para obtenção de um índice de consistência plástica entre 80mm e 100mm. Os resultados encontrados de resistência à compressão aos 28 dias do concreto são adequados para até 10% da incorporação do resíduo. Para as demais misturas, o valor da resistência à compressão não atinge o valor desejado na dosagem devido ao aumento do fator água/cimento para obtenção da mesma trabalhabilidade.

## REFERÊNCIAS

1. MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M.. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 3. ed. São Paulo: Arte Interativa, 2008.
2. PEREIRA, H. R. S. **Proposta de Formulação de Argamassas para Assentamento e Revestimentos de Paredes e Tetos com Incorporação de Pó de Exaustão de Fundição**. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - UDESC, Joinville, 2014.
3. MONOSI, S.; SANI, D.; TITTARELLI, F. Used Foundry Sand in Cement Mortars and Concrete Production. **The Open Waste Management Journal**, n. 3, p. 18-25, 2010.
4. GUNEY, Y.; SARI, Y. D.; YALCIN, M.; TUNCAN, A.; DONMEZ, S. Re-usage of waste foundry sand in high-strength concrete. **Waste Management**, n. 30, p.1705-1713, 2010.
5. SIDDIQUE, R.; KADRI, E. Effect of metakaolin and foundry sand on the near surface characteristics of concrete. **Construction And Building Materials**, n. 25, p.3257-3266, 2011.
6. SINGH, G.; SIDDIQUE, R. Abrasion resistance and strength properties of concrete containing waste. **Construction And Building Materials**, n. 28, p.421-426, 2012.

7. SINGH, G.; SIDDIQUE, R. 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**, v.26, p. 416-422, 2012.

8. KHATIB, J. M.; HERKI, B. A.; KENAI, S. Capillarity of concrete incorporating waste foundry sand. **Construction and Building**, n. 47, p.867-871, 2013.

9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR NM 46: Agregados – Determinação do teor de material pulverulento**. Rio de Janeiro, 2003.

11. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2009.

12. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR NM 53: Agregado graúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2003.

13. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR NM 45: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, 2006.

14. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2015

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

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

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

## CHARACTERIZATION OF RESISTANCE CONVENTIONAL CONCRET COMPRESSION WITH SAND CASTING

### ABSTRACT

The metals industry generates a lot of waste during the casting process. The use of sand casting to partially replace natural sand in the concrete adds to the environment by minimizing the disposal of this waste. This article has the objective to characterize the conventional concrete with sand casting in relation to compressive strength and workability. The materials used in the production of concrete were cement CP-IIIF, gravel number 1, medium sand from the river bed and sand casting from a company of Jaraguá do Sul/ SC. The aggregates were characterized by the granulometric distribution assays, pulverulent material content, bulk density and bulk density. To analyze the properties were measured and produced four conventional concrete mixtures with the percentages 0%, 10%, 20% and 30% in partial replaced of foundry sand by Natural sand mass. The samples were broken aged 14 days and 28 days. The concrete mixtures showed plastic consistency for the frustoconical rebate was between 80mm and 100mm. The results obtained for the property compressive strength after 28 days are suitable for up to 10% residue incorporation. For the other mixtures, the compressive strength value does not reach the calculated value in the trace dosage due the necessity of more water added so that the workability can be achieved.

Keywords: compression resistance; concrete; sand casting.