



# AVALIAÇÃO DA RECICLAGEM DE AREIA FENÓLICA-ALCALINA USADA DE FUNDIÇÃO (AF) NA PRODUÇÃO DE CONCRETO<sup>1</sup>

Daiane Calheiro<sup>2</sup>

Daiana Cristina Metz<sup>3</sup>

Marlova Piva Kulakowski<sup>4</sup>

Carlos Alberto Mendes Moraes<sup>5</sup>

## Resumo

O setor de fundição gera uma quantidade significativa de resíduos sólidos industriais, entre eles a areia fenólica-alcálica usada de fundição (AF). O concreto é o material de construção mais empregado no mundo, demandando um volume considerável de recursos naturais, alguns destes já escassos nos grandes centros, como a areia de rio. O objetivo do presente trabalho é avaliar o emprego de AF como substituição parcial de areia natural na produção de concreto. A AF foi destorroada e segregada, passando por caracterização com vistas ao emprego em concreto. O concreto foi dosado pelo método IPT-EPUSP, produzindo-se 3 traços de concreto referência e três traços de concreto com AF empregada em substituição à areia convencional, nos teores de 5%, 10% e 15%. A substituição foi realizada em massa com compensação de volume. No estado fresco avaliou-se a demanda de água e a consistência pelo teste de abatimento de tronco-cone. No estado endurecido avaliou-se o desempenho ambiental do concreto com e sem AF e resistência à compressão aos 28 dias. Os resultados indicam um bom ajuste dos traços de concreto estudados, apresentando coeficiente de determinação de 95%. As resistências à compressão aos 28 dias dos concretos com AF apresentaram uma redução média de 17% em relação à referência e os resultados mais satisfatórios foram obtidos para o teor de 10% de AF. Estes resultados podem indicar uma possível interferência das contaminações da areia no desenvolvimento das reações de hidratação do cimento e das resistências do concreto.

**Palavras-chaves:** Resíduos sólidos; Areia fenólica-alcálica; Concreto; Resistência à compressão.

## EVALUATION OF THE RECYCLING OF PHENOLIC-ALKALINE USED SAND FROM FOUNDRY IN THE PRODUCTION OF CONCRETE

### Abstract

The foundry sector generates a huge amount of solid wastes, between them the phenolic-alkaline used sand. On the other hand, the concrete is the most used construction material in the world, which demands high amounts of natural resources, some of them becoming rare in some regions, like river sand. The aim of this work is to evaluate the application of phenolic sand as partial substitute of natural sand in the production of concrete. The used sand was grinded and segregated, and characterized focused in concrete use. The concrete was dosed by IPT-EPUSP method, producing 3 mixes of reference concrete and 3 for the concrete containing foundry sand in the amount of 5, 10 and 15%. The substitution was carried out in mass with volume compensation. In the fresh concrete it was evaluated water demand, and the consistency by slump test. In the hardened concrete it was evaluated the environmental performance of the concrete with and without used sand and compressive strength till 28 days. The results show a good correlation of concrete mixes, presenting a determination coefficient of 95. The compressive strengths at 28 days of concretes with this sand presented a medium reduction of 17% in relation to the reference, and the results were considered satisfactory for 10% of used sand. These results may indicate an interference of sand contamination during the developing of hydration reactions of the cement and of concrete strengths.

**Key-words:** Solid wastes; Phenolic-alkaline sand; Concrete; Compressive strength.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 65º Congresso Anual da ABM, 26 a 30 de julho de 2010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>2</sup> Mestranda – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Univ.Vale do Rio dos Sinos/UNISINOS, e-mail: dcalheiro@gmail.com

<sup>3</sup> Mestranda – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Laboratorista LMC, UNISINOS, e-mail: daianacm@unisinobr

<sup>4</sup> Profa. Dr. – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil - Núcleo de Caracterização de Materiais - UNISINOS, email: marlovak@unisinobr

<sup>5</sup> Membro da ABM, Prof. Dr. – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil - Núcleo de Caracterização de Materiais - UNISINOS, email: cmoraes@unisinobr



## 1 INTRODUÇÃO

A humanidade está consumindo os recursos naturais em um ritmo superior à capacidade de reposição das matérias-primas retiradas do meio ambiente. O uso indiscriminado de recursos extraídos da natureza bem como a geração de resíduos na produção compromete o meio ambiente, impactam na qualidade de vida dos cidadãos e, muitas vezes, estão associados a desperdícios e ineficiência das organizações. Neste contexto, este trabalho consistirá em avaliar o emprego de areia fenólica-alcalina usada de fundição (AF) como substituição parcial de areia natural na produção de concreto.

A AF é utilizada no processo de fundição para produzir moldes adequados para elaborar uma cavidade no formato desejado, para que o metal líquido possa ser introduzido nesta cavidade. A cavidade do molde deve reter seu formato até que o metal vazado solidifique, e então o fundido é separado do molde. Muito comumente, essas areias são encaminhadas para aterro industrial, em função de estarem contaminadas com compostos fenólicos. De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)<sup>(1)</sup> são classificados como resíduo Classe I - Perigoso. Sabe-se que, em alguns casos, AF geradas são armazenadas no pátio da própria fundição, ocasionando uma potencial contaminação no solo e água. Isso pode ocorrer pela incapacidade financeira de empresas de pequeno porte em atender as legislações vigentes em função dos altos custos de transporte e de disposição em aterro industrial, ou pelo não conhecimento da legislação.

O Brasil é o sétimo produtor mundial de bens fundidos. O universo estimado de empresas no país é de 1.250 unidades, sendo a maioria empresas de micro e pequeno porte. O setor produz cerca de 3 milhões de toneladas de peças por ano. Geograficamente, está representado em todas as regiões do país, mas há uma concentração de empresas nas regiões Sudeste e Sul.<sup>(2)</sup>

O processo de fabricação de peças fundidas utiliza grande quantidade de areia para confecção dos moldes e machos. Segundo Silva e Chegatti,<sup>(3)</sup> as areias de fundição representam um dos resíduos sólidos industriais com maior volume de produção. No Brasil são descartadas aproximadamente 2 milhões de toneladas por ano, concentradas em duas regiões do país: Sul e Sudeste. Considerando que a areia de fundição, conforme consta na norma da ABNT NBR 10004 é considerada classe I - Perigoso, é um grave problema ambiental para o país, pois ele é um dos maiores produtores mundiais.

Para amenizar esse problema uma alternativa é a reciclagem, pois quando um material é reciclado pode ser aproveitado como matéria-prima em outro processo, por exemplo, utilizar essa areia como agregado na Construção Civil.

O Setor da construção civil é um grande consumidor de recursos naturais não renováveis. Segundo Valverde,<sup>(4)</sup> em 2006 foram produzidos 358,0 milhões de toneladas de agregados, representando um aumento de 8% em relação a 2005. Deste total, 146,0 milhões de toneladas são representados por pedras britadas e 212,0 milhões de toneladas por areia. Os principais locais de produção de areia para construção civil são várzeas e leitos de rios, depósitos lacustres, mantos de decomposição de rochas, arenitos e pegmatitos decompostos. No Brasil, 70% da areia é extraída do leito de rios e 30% nas várzeas.<sup>(5)</sup>

Grupos de pesquisa estudam para contribuir na qualidade das ações da empresa geradora quanto a recuperação, regeneração e reciclagem, por exemplo, dos excedentes de areia usada. Além disso, analisa-se caminhos que têm sido

estudados e utilizados no sentido de reutilizar beneficemente os resíduos sólidos de fundição.<sup>(6)</sup>

Para que a reciclagem destas areias seja efetiva é fundamental a segregação destes resíduos para eliminar contaminantes. Esta é uma das principais limitações para transformar esse resíduo em co-produto, pois muitas fundições não realizam a separação na hora do descarte das mesmas, inviabilizando seu uso.

De acordo com a *Foundry Industry Recycling Starts Today -FIRST*<sup>(7)</sup> a areia de fundição é basicamente agregado miúdo, sendo assim, é possível substituir a areia natural utilizada na construção civil. Este resíduo pode ter várias aplicações na construção civil como em taludes, mistura quente de asfalto e concretos de cimento portland.

Toledo<sup>(8)</sup> desenvolveu uma pesquisa que estudou novas composições de materiais cerâmicos, tais como telhas e tijolos, através de reaproveitamento de resíduos de areia de fundição e micro esfera de vidro, com propriedades mecânicas e ambientais suficientes para atender as legislações pertinentes. A maior limitação encontrada neste estudo para a viabilidade na indústria é o alto custo de energia, visto que as temperaturas para obtenção destas cerâmicas estão acima de 1.180°C. Outra dificuldade encontrada foi que as empresas de fundições disponibilizassem os materiais necessários para os ensaios, em função da exposição a que seriam submetidas. Os resultados obtidos neste estudo comprovam que é viável a aplicação destes resíduos na produção de cerâmica vermelha.

Pesquisa desenvolvida por Piovesan *et al.*<sup>(9)</sup> buscam a utilização da areia usada de fundição do processo de moldagem a verde em substituição à areia fina, na fabricação de blocos de concreto para pavimentação, a fim de que a construção civil, que atualmente utiliza fontes naturais não renováveis como matéria-prima, possa vir a utilizar subprodutos, da indústria de fundição. O resultado deste estudo foi obtido através de análise física, química e ambiental, concluindo que é possível a utilização da areia de fundição em substituição à areia fina na fabricação destes blocos.

Desta forma, o objetivo deste trabalho é avaliar o emprego de AF como substituição parcial de areia natural na produção de concreto plástico para fins estruturais, com vistas ao esclarecimento de potencialidades e limitações deste tipo de emprego para este resíduo.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os estudos conduzidos em concreto utilizaram cimento Portland CP V ARI RS, cuja composição e caracterização química estão apresentadas na Tabela 1 e a caracterização física está apresentada na Tabela 2, conforme informação do fabricante.

**Tabela 1** – Composição e caracterização química do cimento CPV RS, segundo dados do fabricante<sup>(10)</sup>

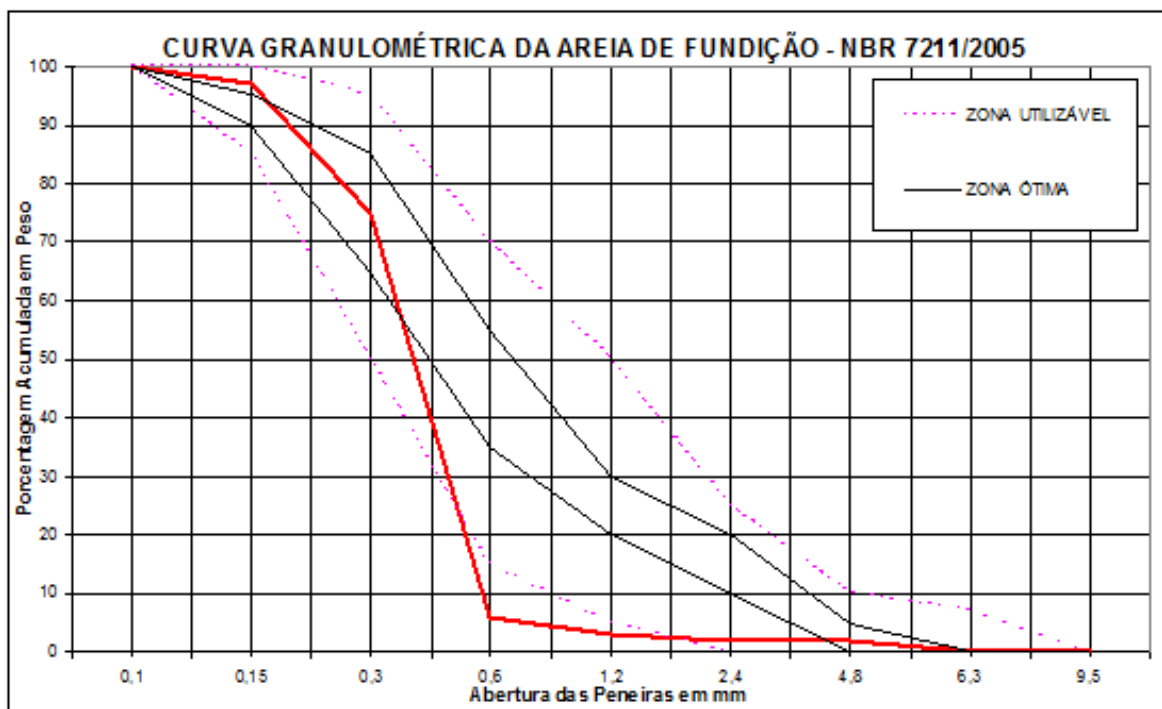
Ensaio químicos (%)	CP V ARI RS	Norma
Perda ao fogo	3,65	NM 18
Resíduo insolúvel	11,98	NBR NM 15
Trióxido de enxofre SO <sub>3</sub>	3,23	NBR 14656
Óxido de cálcio livre CaO	1,56	NBR NM 12
Óxido de magnésio MgO	4,89	NBR 14656
Óxido de alumínio Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,31	NBR 14656
Óxido de silício SiO <sub>2</sub>	22,29	NBR 14656
Óxido de ferro Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,17	NBR 14656
Óxido de cálcio CaO	53,95	NBR 14656
Equivalente alcalino	0,81	NBR 14656

Fonte: Itambé (2007)

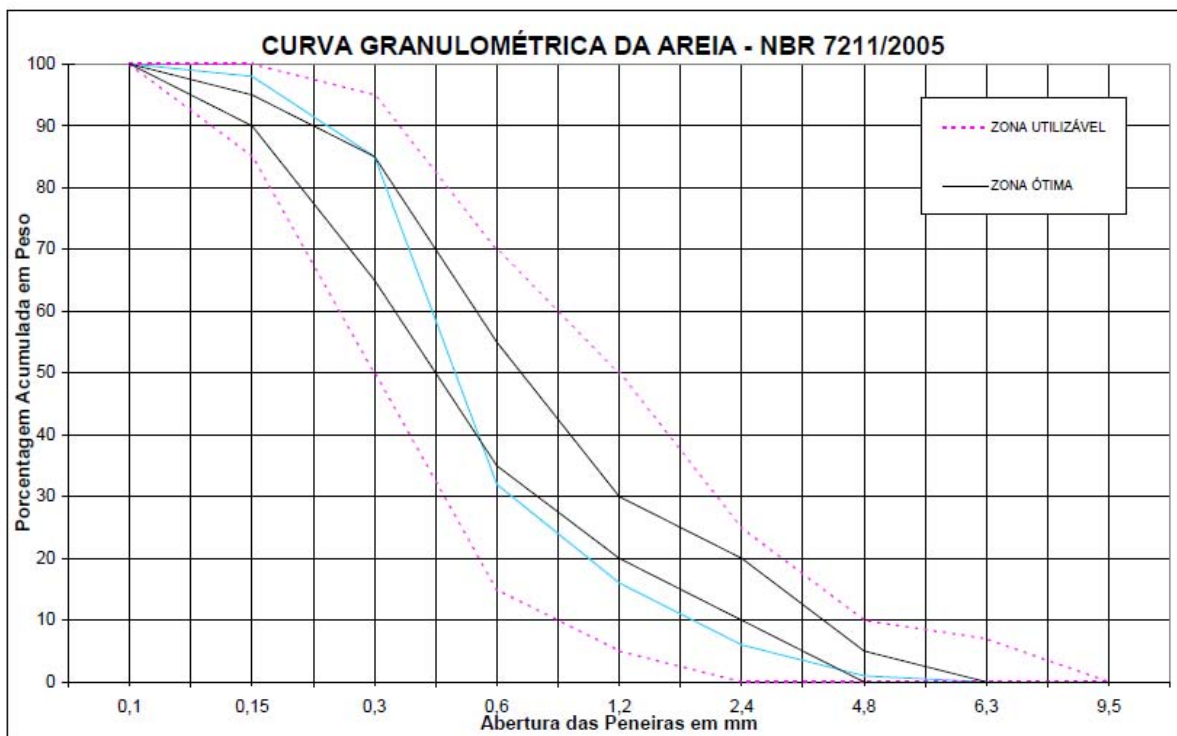
**Tabela 2** - Caracterização física do cimento CPV ARI RS segundo dados do fabricante<sup>(10)</sup>

Ensaio físicos	unidade	CPV ARI RS	NBR
Tempo de início de pega	h:min	02:07	NBR NM 65
Tempo de fim de pega	h:min	02:49	NBR NM 65
Consistência normal	%	30,08	NBR NM 43
Blaine	cm <sup>2</sup> /g	5,017	NBR NM 76
Finura da peneira = 200	%	0,13	NBR 11579
Finura na peneira = 325	%	1,06	NBR 9202
Resistência à comp. Axial a 1 dia	MPa	22,6	NBR 7215
Resistência à comp. Axial aos 3 dias	MPa	33,5	NBR 7215
Resistência à comp. Axial aos 7 dias	MPa	39,7	NBR 7215
Resistência à comp. Axial aos 28 dias	MPa	49,70	NBR 7215

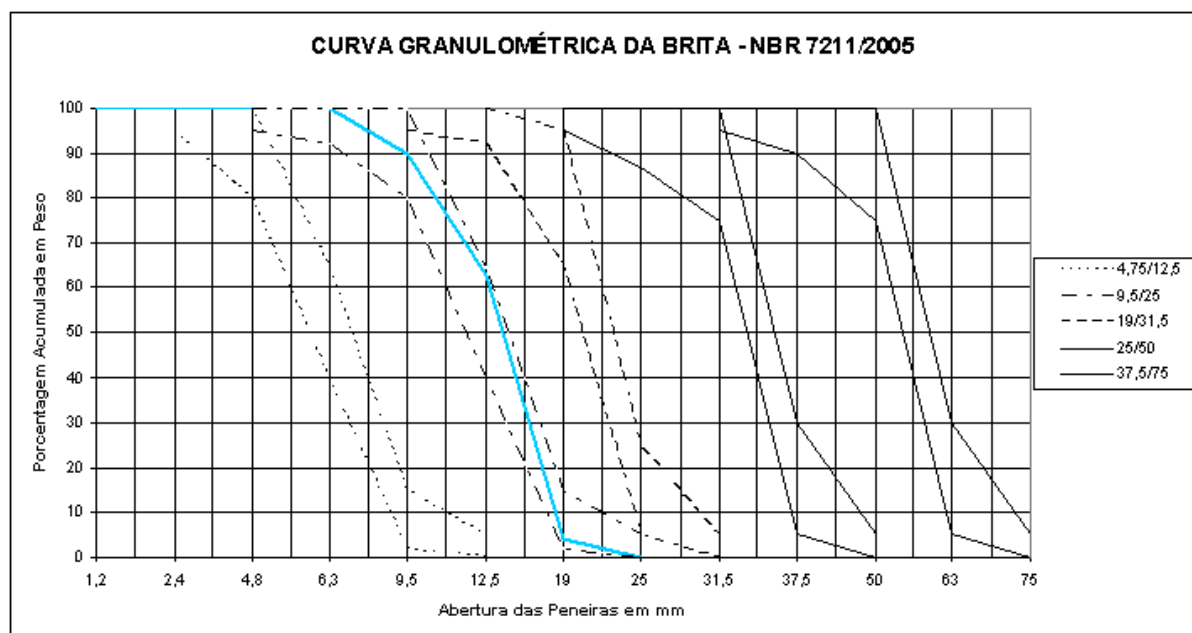
Como agregado miúdo utilizou-se um resíduo de areia do processo de fundição, cuja curva granulométrica está apresentada na Figura 1, e uma areia natural de origem quartzosa no qual se encontra na Figura 2 sua curva granulométrica. Como agregado graúdo foi utilizado brita de origem basáltica e sua curva granulométrica encontra-se na Figura 3.



**Figura 1** – Curva granulométrica da areia de fundição.



**Figura 2** – Curva granulométrica da areia natural.



**Figura 3** – Curva granulométrica da brita.

A água usada no processo de produção do concreto foi da rede pública de abastecimento de água da cidade de São Leopoldo. A caracterização dos agregados estão apresentadas na Tabela 3.

**Tabela 3** - Caracterização dos agregados utilizados

Ensaio	Areia Natural	Areia de Fundição	Brita
Massa específica - NBR NM 52 <sup>(11)</sup>	2,43 kg/dm <sup>3</sup>	2,23 kg/dm <sup>3</sup>	2,59 kg/dm <sup>3</sup>
Dimensão máxima - NBR NM 248 <sup>(12)</sup>	4,8 mm	0,6mm	19 mm
Módulo de finura - NBR NM 248 <sup>(12)</sup>	2,39	1,85	6,93

O proporcionamento do concreto foi realizado pelo método IPT/EPUSP,<sup>(13)</sup> estipulando-se um abatimento de  $100 \pm 20$  mm. O teor de argamassa  $\alpha$  foi fixado em 53%. Para a produção dos concretos foram realizados três traços (proporcionamento de materiais) de referência todos com a utilização de agregados convencionais, um com baixo consumo de cimento (pobre), outro com médio consumo de cimento (intermediário) e o último com alto consumo de cimento (rico). A composição dos traços de referência e o consumo de materiais empregados são apresentados na Tabela 44.

**Tabela 4** – Traços e consumos de materiais dos concretos de referência

Identificação Traços	Traços unitários em massa (kg)	Rel a/c	Cimento (kg)	Areia (kg)	AF (kg)	Brita (kg)	Abatimento (mm)
Ref. Pobre (RP)	1: 2,98: 3,52	0,66	7,96	23,71	-	28	105
Ref. Intermediário (RI)	1: 2,18: 2,82	0,53	10,28	22,42	-	29	95
Ref. (RR)	1: 1,39: 2,12	0,42	14,62	20,33	-	31	95

Na continuidade do programa experimental, foram produzidos concretos com a substituição da areia natural pela AF em porcentagens de 5%, 10% e 15%, nos diferentes traços de referências. Estas substituições foram realizadas em massa com

compensação de volume, em função da diferença entre a massa específica da areia natural e da areia de fundição ( Tabela 3). Esta compensação de volume foi realizada conforme Equação 1.

$$M_{AF} = \frac{M_{AN}}{\gamma_{AN}} \times \gamma_{AF} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

$M_{AF}$  é a massa de areia de fundição, em kg;

$V_{AF}$  é o volume de areia de fundição,  $dm^3$ ;

$\gamma_{AF}$  é a massa específica da areia de fundição, em  $kg/dm^3$ ;

$M_{AN}$  é a massa de areia natural, em kg;

$V_{AN}$  é o volume de areia natural,  $dm^3$ ;

$\gamma_{AN}$  é a massa específica da areia natural, em  $kg/dm^3$ .

Quando a areia de fundição foi incorporada ao concreto, nos diversos teores, realizaram-se ajustes na demanda de água de amassamento, sempre que necessário, a fim de manter o parâmetro abatimento dentro dos limites pré-estabelecidos, alterando a relação água/cimento em relação ao traço original.

Para determinar a resistência à compressão dos concretos estudados, foram moldados dois corpos-de-prova (cp's) cilíndricos, com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura. A moldagem dos cp's seguiu as recomendações da NBR 5738,<sup>(14)</sup> permanecendo em ambiente de laboratório, após o qual foram encaminhados para câmara de cura úmida até que atingissem a idade de 28 dias Para a determinação da resistência à compressão seguiu-se a NBR NM101,<sup>(15)</sup> que especifica o método de ensaio de compressão para o concreto.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Quando a areia de fundição foi incorporada aos diversos concretos, nos diversos teores de substituição da areia natural, e, em algumas situações, ocorreu uma alteração do teor de água da mistura, o que pode ser observado pelas relações água /cimento (a/c) apresentadas na

Tabela 5.



**Tabela 5** – Traços e consumos de materiais dos concretos de referência

Identificação Traços	Traços unitários em massa (kg)	Rel a/c	Cimento (kg)	Areia (kg)	AF (kg)	Brita (kg)	Abatimento (mm)
Ref. Pobre (RP)	1: 2,98: 3,52	0,66	7,96	23,71	-	28	105
Ref. Intermediário (RI)	1: 2,18: 2,82	0,53	10,28	22,42	-	29	95
Ref. (RR)	1: 1,39: 2,12	0,42	14,62	20,33	-	31	95
Pobre 5% AF (AF5P)	1: 2,98: 3,52	0,64	7,96	22,52	1,09	28	105
Interm. 5% AF (AF5I)	1: 2,18: 2,82	0,53	10,28	21,30	1,03	29	110
Rico 5% AF (AF5R)	1: 1,39: 2,12	0,42	14,62	19,31	0,93	31	110
Pobre 10% AF (AF10P)	1: 2,98: 3,52	0,63	7,96	21,33	2,18	28	110
Interm. 10% AF (AF10I)	1: 2,18: 2,82	0,51	10,28	20,18	2,06	29	110
Rico 10% AF (AF10R)	1: 1,39: 2,12	0,43	14,62	18,29	1,87	31	105
Pobre 15% AF (AF15P)	1: 2,98: 3,52	0,62	7,96	20,15	3,26	28	90
Interm. 15% AF (AF15I)	1: 2,18: 2,82	0,53	10,28	19,06	3,09	29	100
Rico – 15% AF (AF15R)	1: 1,39: 2,12	0,43	14,62	17,28	2,80	31	90

As equações das curvas de ajuste de resistência à compressão aos 28 dias (curvas de Abrams), bem como as retas de dosagem são apresentadas na Tabela .

A Figura 4 apresenta o diagrama de dosagem dos concretos estudados, onde podem ser observadas as curvas de resistência à compressão aos 28 dias (Lei de Abrams)<sup>(13)</sup>, as retas dos traços de cada um dos concretos (Lei de Lyse)<sup>(13)</sup> e as curvas de consumo de cimento (Lei de Molinari).<sup>1413)</sup> Pode-se verificar que todos os concretos com areia de fundição fenólica alcalina apresentam, para a idade de 28 dias, resistência à compressão inferior aos concretos de referência, que estão representadas no 1º quadrante do diagrama de dosagem. As curvas de consumo de cimento, apresentadas no 3º quadrante do diagrama de dosagem, indicam que ocorre um ligeiro aumento no consumo de cimento para os concretos com areia de fundição. Este comportamento está compatível com as características físicas da areia de fundição, pois o seu módulo de finura de 1,85 é muito inferior ao módulo de finura de 2,39 da areia natural empregada. A diminuição do módulo de finura da areia leva ao aumento da superfície específica do material, o que faz com que uma maior quantidade de água e cimento seja requerido para se atingir o mesmo abatimento de tronco do concreto referência.

**Tabela 6** – Equações de resistência à compressão e reta de dosagem

Identif.	fc resistência à compressão aos 28 dias (kg)	R <sup>2</sup>	Traço (kg/kg)	R <sup>2</sup>
REF	LOG(fc)=1,9040-0,5959*a/c	0,9976	m=12,363a/c-1,5934	0,9973
AF5%	LOG(fc)=1,8633-0,7143*a/c	0,9379	m=14,012a/c-2,4078	0,9995
AF10%	LOG(fc)=1,8191-0,5278*a/c	0,8414	m=14,844a/c-2,7537	0,9847
AF15%	LOG(fc)=1,8638-0,6764*a/c	0,8862	m=15,689a/c-3,1951	0,9989

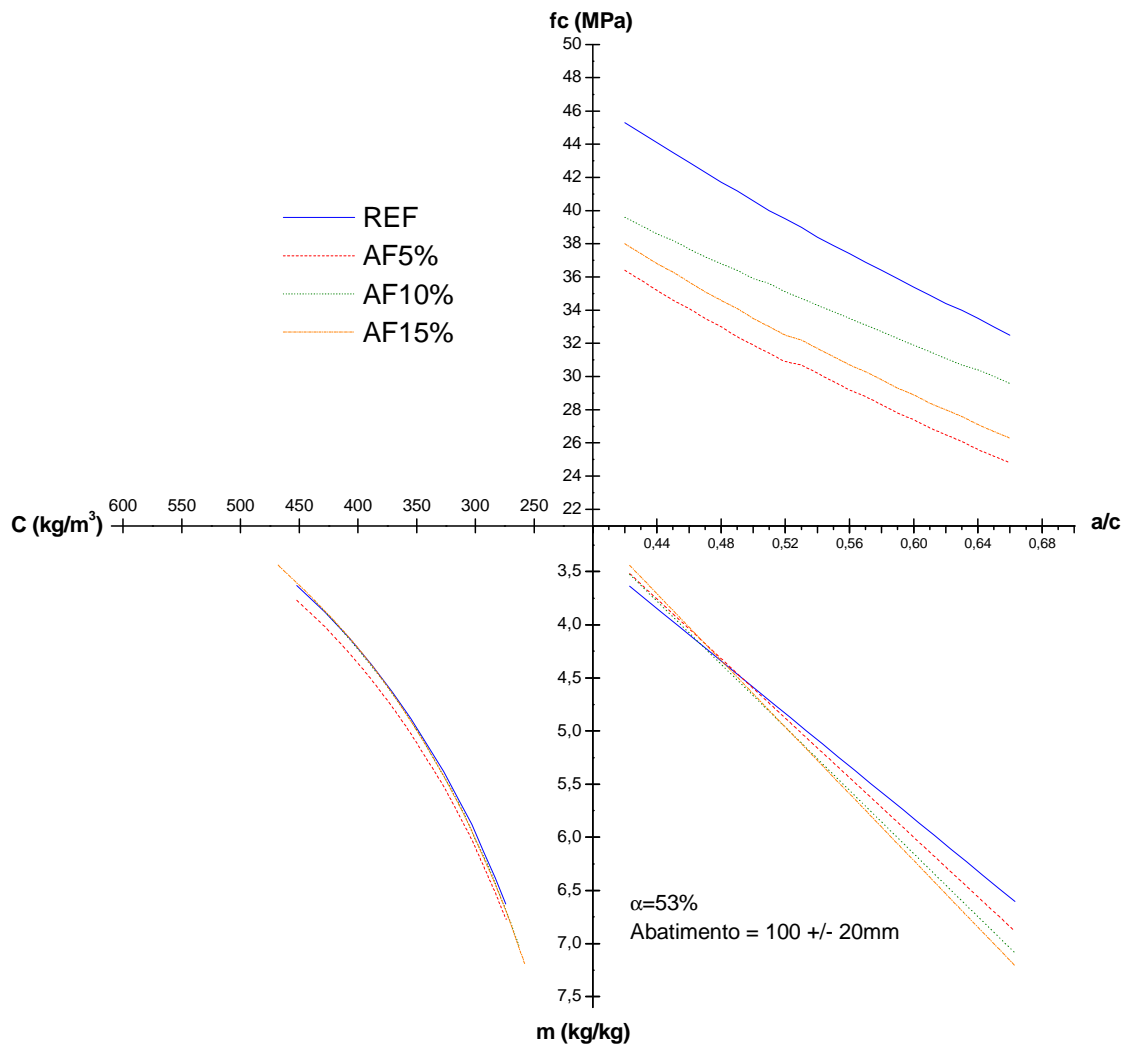
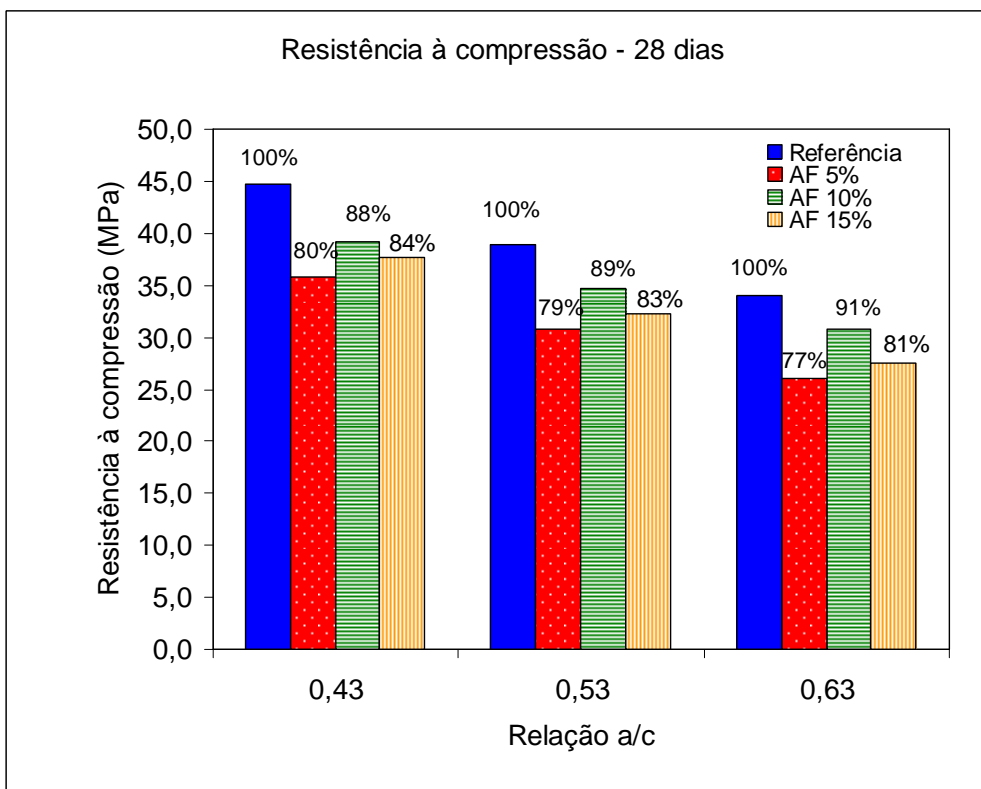


Figura 4 – Diagrama de dosagem dos concretos com e sem areia de fundição.

A Figura 5 apresenta as resistências à compressão dos concretos estudados, quando se fixa as relações água cimento em três níveis de consumo de cimento e resistência. Pode-se observar que seguem uma tendência de comportamento, sendo que as maiores resistências à compressão dos concretos com resíduo é apresentado pelo que contém 15% de AF. Contudo este concreto ainda apresenta uma queda de resistência de 10% em relação ao concreto de referência.



**Figura 5** – Comparação das resistências à compressão.

As perdas médias de resistência à compressão são de 83% para os concretos com 15% e 10%, e de 19% para o concreto com 5% de AF.

O concreto é comercializado conforme a resistência à compressão característica ( $f_{ck}$ ) especificada. O concreto produzido em central para este  $f_{ck}$  apresentará, conforme o desvio padrão da empresa, uma determinada resistência de dosagem aos 28 dias ( $f_{c28}$ ). A título de análise, pode-se tomar um concreto de  $f_{ck}$  25MPa, um dos mais comercializados na região sul, cujo  $f_{c28}$  seja em torno de 30 MPa. Se este concreto for produzido conforme o diagrama de dosagem apresentado, obter-se-á os parâmetros de dosagem apresentados na Tabela 7 e na Figura 6.

**Tabela 7** – Parâmetros de dosagem para concretos de  $f_{ck}$  25MPa ( $f_{c28}$  30MPa)

Identificação	Relação a/c	m
REF	0,72	7,31
AF5%	0,54	5,16
AF10%	0,63	6,62
AF15%	0,57	5,75

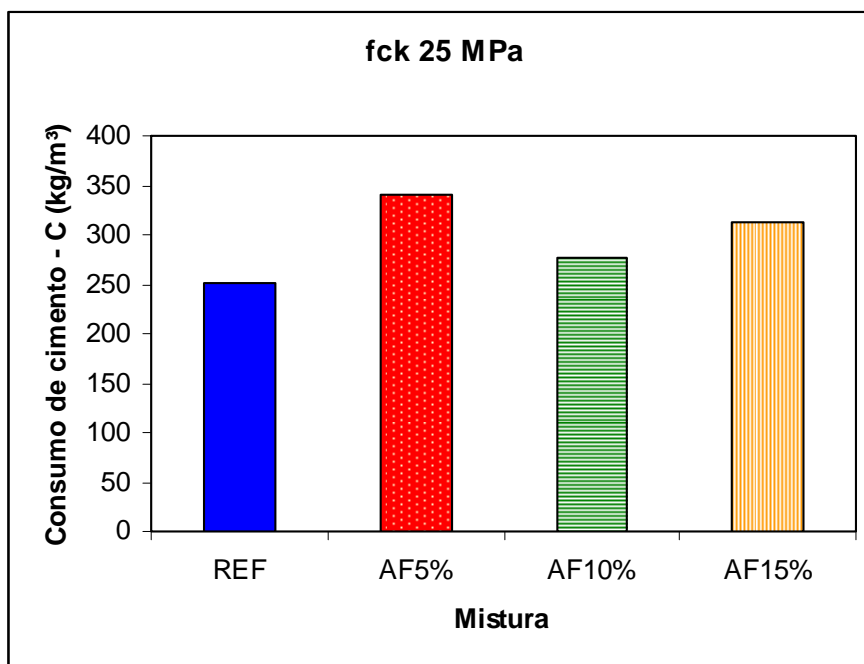


Figura 6 – Consumos de cimento para fck 25 MPa.

Pode-se verificar pelos dados apresentados no gráfico da Figura 6 que os consumos de cimento apresentam um aumento significativo em relação ao concreto referência, o que poderia tornar inviável o emprego da AF fenólica alcalina na produção de concreto. Contudo, há necessidade de conduzirem-se estudos onde haja uma maior adequação do emprego da AF, considerando a sua incorporação em areias cujo módulo de finura seja equivalente a uma areia “grossa” e, desta forma, a finura da areia de fundição compensaria a falta de fração fina da areia grossa.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As resistências à compressão aos 28 dias dos concretos com AF apresentaram uma redução média de 17% em relação ao concreto de referência e os resultados mais satisfatórios foram obtidos para o teor de 10% de AF. Estes resultados podem indicar uma possível interferência das contaminações da areia no desenvolvimento das reações de hidratação do cimento e das resistências do concreto.

Também deve ser considerado que este tipo de areia apresenta um módulo de finura muito inferior ao da areia natural, o que aumenta a demanda de água da mistura e, como consequência, diminui as resistências. Além disto, outros estudos devem ser conduzidos para verificar o comportamento em concretos com idades mais elevadas.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem à PL Fundição pela concessão das amostras de areia fenólica de fundição usada para realização do programa experimental, e ao Banco Santander e UNISINOS pelas bolsas de mestrado.

## REFERÊNCIAS

- 1 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos Sólidos - Classificação**: NBR 10004:2004. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- 2 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO. **Estudo Setorial de Fundição 2004-2006: O Setor de Fundição no Brasil - Perfil Produtivo e Tecnológico**. Rio de Janeiro: ABIFA, 2007.
- 3 SILVA, Tatiane Cristina da; CHEGATTI, Scirlene. Comparativo entre os regulamentos existentes para reutilização de resíduos de fundição. In. CONGRESSO DE FUNDIÇÃO ABIFA, 13. , 2007. São Paulo. **CD CONAF 2007**. São Paulo: CONAF, 2007.
- 4 VALVERDE, Fernando M. **Sumário Mineral Brasileiro 2007 – Agregados para Construção Civil**. DNPM/MME, p25-27. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=68&IDPagina=1063>. Acesso em 29 set. de 2008.
- 5 VALVERDE, Fernando. M. **Sumário Mineral Brasileiro 2006 – Agregados para Construção Civil**. DNPM/MME, p17-18. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=68&IDPagina=64>. Acesso em 29 set. de 2008.
- 6 MORAES, Carlos A. M.. **Reciclagem de resíduos sólidos de fundição: uma análise crítica**. In. 57º Congresso Anual da ABM – Internacional. São Paulo, 2002. **Anais do 57º Congresso Internacional Anual da ABM**. São Paulo: ABM, 2002.
- 7 FOUNDRY INDUSTRY RECYCLING STARTS TODAY. **Foundry Sand Facts for Civil Engineers**. Washington: Environmental Protection Agency, 2004. 80p.
- 8 TOLEDO, Edna Beronheiro Signorelli. **Método de utilização de areia de fundição e resíduo de poeira de jateamento (micro esferas de vidro) para produzir cerâmica vermelha**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Federal do Paraná, 2006. 110p.
- 9 PIOVESAN, Angela Zamboni; GEMELLI, Carolina; SILVA, Maria da Luz; MASUERO, Angela Borges. Utilização da Areia de Fundição para Fabricação de Blocos de Concreto para Pavimentação. In. XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. ANTAC, 2008. Fortaleza. **CD ENTAC 2008**. Fortaleza: ENTAC, 2008.
- 10 CIMENTO ITAMBÉ **Relatório CP-V-ARI-RS Março 2007** In.: <<http://www.cimentoitambe.com.br/cimentos/cp-v-ari-rs-cimento-portland-sulfatos/>> Acessado em 29 de Janeiro de 2008.
- 11 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR NM 52: **Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2003.
- 12 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR NM 248: **Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.
- 13 HELENE, P. e TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. Ed. Pini, São Paulo, 1993, 349 p.
- 14 ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738 - **Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro, 2003.
- 15 ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NM 101 - **Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 1996.