

ESTUDO DA VIABILIDADE DE SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DA AREIA NATURAL PELO PÓ DE EXAUSTÃO DE FUNDIÇÃO NO CONCRETO CONVENCIONAL

C. C. dos Santos, L. V. O. Dalla Valentina, M.V. Folgueras, S. C. Semptikovski,
W. C. Galuppo

Rua Inácio Bastos, 1335, apartamento 32, bloco B, Bucarein – Joinville - Santa
Catarina – 89202-310

caicivil@hotmail.com

Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC/ Joinville
Sociedade Educacional de Santa Catarina - SOCIESC

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo o emprego do pó de exaustão, resíduo da indústria de fundição, em substituição parcial ao agregado miúdo (areia natural) na confecção de concretos convencionais. Analisou-se a incorporação do pó de exaustão no concreto, nas formulações de 0, 7,5 e 15% deste subproduto e com diferentes teores do fator água/cimento (0,52, 0,54 e 0,56). Na análise das propriedades dos materiais constatou-se que o pó de exaustão é um material pulverulento. A resistência mecânica de compressão do concreto com a utilização de 15% do pó de exaustão ficou próxima dos valores encontrados com o uso da areia natural. Analisando os resultados através da análise de experimentos, verificou-se que é viável o emprego do pó de exaustão nas proporções de até 15% em substituição parcial da areia natural na fabricação de concreto sem função estrutural.

Palavras-chave: pó de exaustão de fundição, concreto, agregado miúdo

INTRODUÇÃO

Os processos das indústrias de fundição são grandes geradores de resíduos sólidos e consumidores de matérias-primas, aproximadamente 25% de cada tonelada de ferro fundido produzido são resíduos (1). Dentre os resíduos sólidos

descartados, há o pó de exaustão proveniente da regeneração de areias da macharia. Diversas pesquisas que tratam de temas relacionados à utilização de resíduos da fundição com o objetivo de buscar um produto alternativo à areia natural, amplamente usada na construção civil. Pagnussat (2) analisou o desempenho de blocos de concreto para pavimentação que incorpora escória granulada de fundição. Este estudo foi desenvolvido para diferentes proporções de resíduos de fundição como cimento no concreto. E os resultados dos ensaios de compressão comprovaram a viabilidade desta substituição. Carnin (3) avaliou o reaproveitamento do resíduo de areia verde de fundição como agregado em misturas asfálticas. No estudo foi analisada a viabilidade técnica e ambiental do uso do resíduo de fundição em massas asfálticas do tipo concreto asfáltico usinado a quente. As propriedades avaliadas revelaram que é adequado o uso de resíduos de fundição em revestimento asfáltico.

Na indústria de construção civil existe uma carência de materiais alternativos em substituição as matérias primas empregadas no concreto. O agregado miúdo mais utilizado é a areia natural de rio, cuja extração é ambientalmente problemática. Este trabalho tem por objetivo avaliar as potencialidades da utilização do pó de exaustão na produção de concretos convencionais para fins não estruturais. Procurou-se analisar as vantagens do uso do pó de exaustão no concreto, com a substituição parcial do agregado miúdo nas condições de 0, 7,5 e 15% para diferentes teores do fator água/cimento (0,52, 0,54 e 0,56). Para tanto, o concreto e os materiais foram analisados através de ensaio de caracterização, distribuição de tamanho de partículas e ensaio da propriedade mecânica de compressão.

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

Neste trabalho foram utilizados os seguintes materiais: cimento da Votorantin (CP II Z 32); brita de origem de rocha gnaisse e areia natural de rio extraídos na região de Joinville/SC; pó de exaustão da fundição fornecido por indústria siderúrgica de Joinville/SC; água potável fornecida pela companhia de água de Joinville/SC.

Caracterização dos agregados

O agregado graúdo, brita de origem de rocha gnaisse, foi submetido a três ensaios normatizados:

- a) Determinação da composição granulométrica (NBRNM248)
- b) Determinação da massa unitária no estado solto (NBR7251)
- c) Determinação da absorção e da massa específica absoluta (NBRNM53)

O agregado miúdo, areia natural de rio, foi submetida a seis ensaios normatizados:

- a) Determinação da composição granulométrica (NBRNM248)
- b) Determinação da massa específica e massa específica aparente (NBRNM52)
- c) Determinação do teor de umidade pelo método Chapman (NBR9775)
- d) Determinação da massa unitária no estado solto (NBR7251)
- e) Determinação de impurezas orgânicas (NBRNM49)
- f) Determinação do teor de materiais pulverulentos (NBRNM46)
- g) Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis (NBR7218)

A areia natural foi substituída pelo pó de exaustão de fundição nas proporções de 7,5% e 15% em massa. Para cada um destas misturas de agregados miúdos foi realizado o ensaio de determinação da composição granulométrica, segundo a norma NBRNM248.

Para o resíduo de fundição, pó de exaustão, foi realizado os seguintes ensaios:

- a) Distribuição de tamanho de partículas (método: difração a laser / PR-CC-062).
- b) Análise química por espectrometria de fluorescência de raios X e espectrometria de absorção atômica (PR-CRI-097, PR-CRI-098 e PR-CRI-103).

Caracterização do concreto

O traço do concreto utilizado foi 1:2,66:2,34 em relação ao cimento em massa. No traço adotado variou-se em 0,52, 0,54 e 0,56 o fator água/cimento e o agregado miúdo foi substituído em três proporções pelo pó de exaustão (0, 7,5% e 15%). Os ensaios normatizados executados foram:

- a) Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (NBRNM67).
- b) Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos (NBR7251).

Planejamento de experimentos

Quando os experimentos são planejados estatisticamente é permitida a eficiência e economia no processo experimental e resulta em objetividade científica quando retirada de conclusões através do uso de métodos estatísticos no exame de dados. A análise de variância (Analysis of Variance- ANOVA) é uma técnica usada para testar a igualdade das médias populacionais. Foi adotado um planejamento fatorial 3^2 , buscando a aplicação da análise de variância. O planejamento 3^2 é dois fatores, no caso a porcentagem de pó de exaustão e fator água/cimento, cada um com três níveis. No planejamento fatorial 3^2 existem nove combinações possíveis (4).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Agregado graúdo

Conforme ensaio de distribuição granulométrica realizado com a brita, classifica-se o agregado graúdo como brita 1. Na figura 1 é apresentada a distribuição granulométrica do agregado graúdo utilizado e os limites granulométricos.

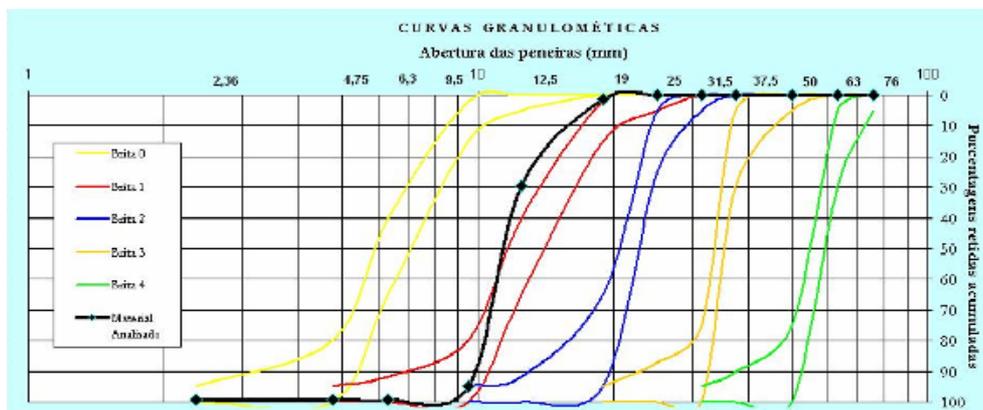


Figura 1 – Distribuição granulométrica da brita e limites granulométricos.

Para o agregado graúdo, o valor da massa unitária no estado solto é de $1,52 \text{ g/cm}^3$. Os resultados obtidos para a absorção e a massa específica absoluta são respectivamente, $0,21\%$ e $2,88 \text{ g/cm}^3$.

Agregados miúdos

Para a areia natural de rio é apresentado na figura 2 a distribuição granulométrica e os limites utilizáveis. Classifica-se a areia natural de rio como areia fina. O módulo de finura da areia é de 2,07.

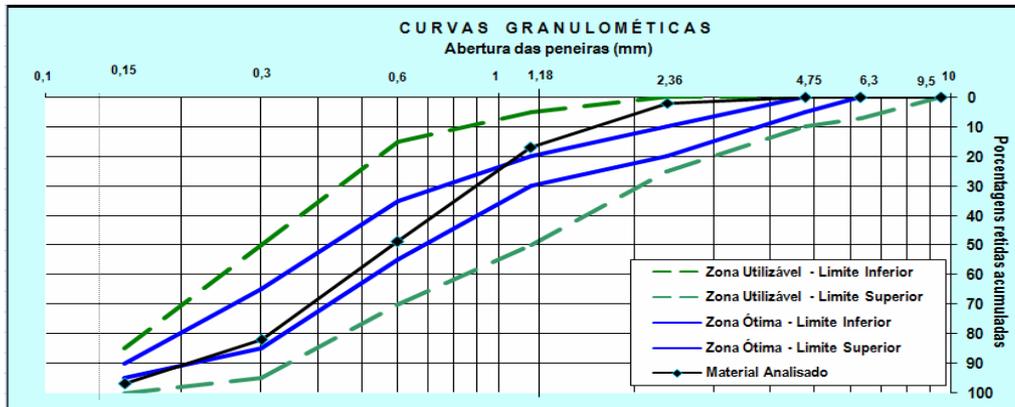


Figura 2 – Distribuição granulométrica da areia utilizada e os limites utilizáveis.

A massa específica pelo método de Chapman obtida no ensaio foi de 2,67 g/cm³ e a massa unitária no estado solto resultou no valor de 1,46 g/cm³. O teor de umidade pelo método da Chapman foi de 5,5%. Na determinação das impurezas orgânicas na areia, o valor encontrado foi de 300 ppm e o teor de material pulverulento foi 1,68%. Foi obtido o resultado de 0,65% na determinação do teor de argila em torrões e de materiais friáveis.

Para as misturas de areia natural de rio e pó de exaustão, está apresentada na figura 3 a curva granulométrica da composição de 7,5% de pó de exaustão com areia natural e ainda os limites utilizáveis. O módulo de finura apresenta o valor de 2,22 para esta mistura. A figura 4 apresenta a curva granulométrica da composição de 15% de pó de exaustão com areia natural com os limites utilizáveis. O módulo de finura é de 2,02. As misturas estão próximas dos limites ótimos de utilização.

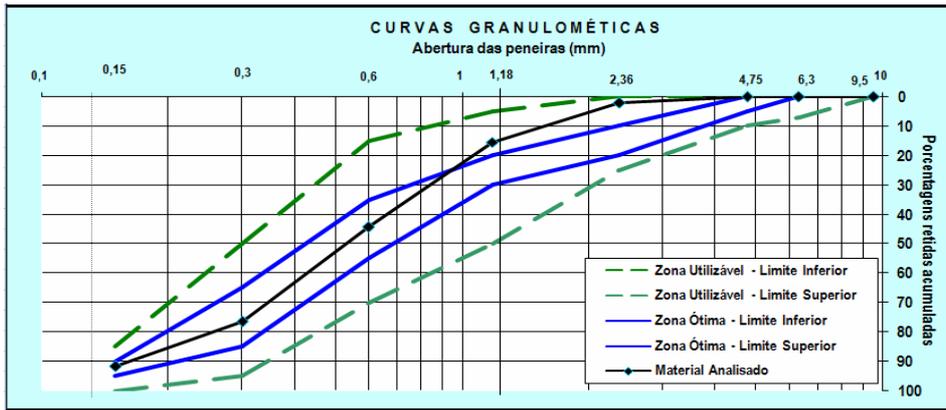


Figura 3 – Distribuição granulométrica do pó de exaustão utilizado em 7,5% e os limites utilizáveis.

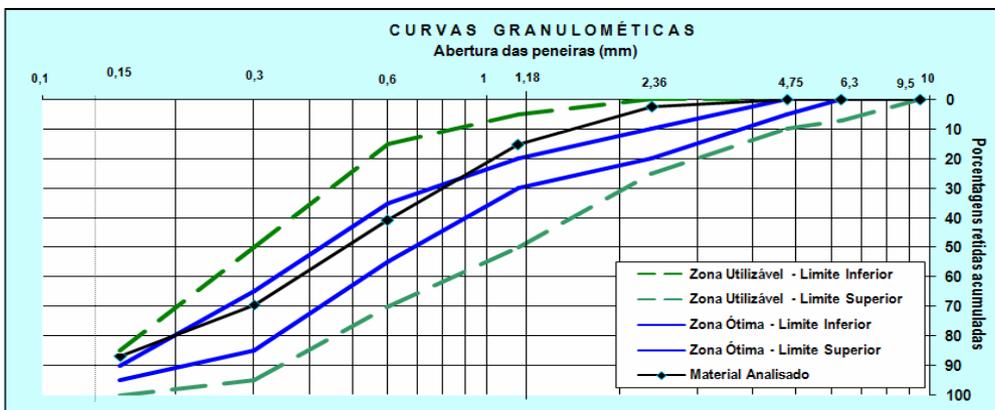


Figura 4 – Distribuição granulométrica do pó de exaustão utilizado em 15% e os limites utilizáveis.

Para o pó de exaustão da indústria de fundição, a distribuição de tamanho de partículas está apresentada na figura 5.

Distribuição de tamanho de partículas	Tamanho (um)
10% das partículas abaixo de	4,89
50% das partículas abaixo de	37,45
90% das partículas abaixo de	88,19
100% das partículas abaixo de	180

Figura 5 – Distribuição de tamanho de partícula

O ensaio para determinação da massa específica pelo método de Chapman para o pó de exaustão resultou no valor de 1,49 g/cm³. No caso da massa unitária solta, o valor encontrado foi de 1,24 g/cm³. Os ensaios de teor de materiais pulverulentos e teor global de argila em torrões não foram possíveis de serem

executados, pois a água não incorporou ao pó de exaustão. Na figura 6 está apresentada a análise química e a absorção atômica do pó de exaustão.

Elemento	Teor (%)
Al ₂ O ₃	9,33
Cão	0,25
Fe ₂ O ₃	4,01
K ₂ O	1,57
MgO	0,40
MnO	0,05
Na ₂ O	0,25
P ₂ O ₅	0,04
SiO ₂	80,73
TiO ₂	0,39
Perda Fogo	2,37

Figura 6 – Análise química e absorção atômica do pó de exaustão.

O material analisado, pó de exaustão, é composto em maior porcentagem por sílica e óxido de alumínio. O material em estudo é proveniente da regeneração de areias da macharia, o qual contém somente aditivos de tintas para a confecção dos machos de fundição.

Concreto

Os resultados obtidos no ensaio de abatimento pelo troco de cone com o concreto fresco estão demonstrados na tabela 1 abaixo. Os resultados variaram entre 32 mm e 72 mm. A maioria dos resultados ficou entre 32 mm e 50 mm. Pode-se dizer que, quanto maior a quantidade de pó de exaustão e quanto menor o fator água/cimento menos trabalhável o concreto fica.

Tabela 1 – Consistência pelo abatimento do troco de cone.

ABATIMENTO (mm)		Fator água/cimento		
		0,52	0,54	0,56
Porcentagem de pó de exaustão (%)	0	34	45	72
	7,5	32	40	60
	15	32	35	50

A resistência à compressão é a propriedade mais valorizada do concreto. Foram rompidas as três primeiras réplicas para a determinação da resistência a compressão do concreto aos 7 dias, em seguida foram rompidos três réplicas para determinar a resistência a compressão aos 28 dias. Na tabela 2, refere-se aos resultados da resistência a compressão aos 7 dias.

Tabela 2 – Resistência à compressão do concreto aos sete dias

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 7 DIAS (MPa)		Fator água/cimento		
		0,52	0,54	0,56
Porcentagem de pó de exaustão (%)	0	19,52	18,11	16,15
		19,33	13,97	18,30
		20,19	15,99	16,93
	7,5	20,34	18,71	18,22
		18,82	20,57	20,09
		19,46	19,80	18,68
	15	18,12	17,17	19,19
		18,19	19,80	21,00
		17,94	15,92	20,23

Na análise dos resultados foi utilizada a análise de variância com o modelo fatorial 3^2 e intervalo de 95% de confiança para as médias. A influência da interação dos fatores na resistência à compressão aos 7 dias é representada pela figura 7.

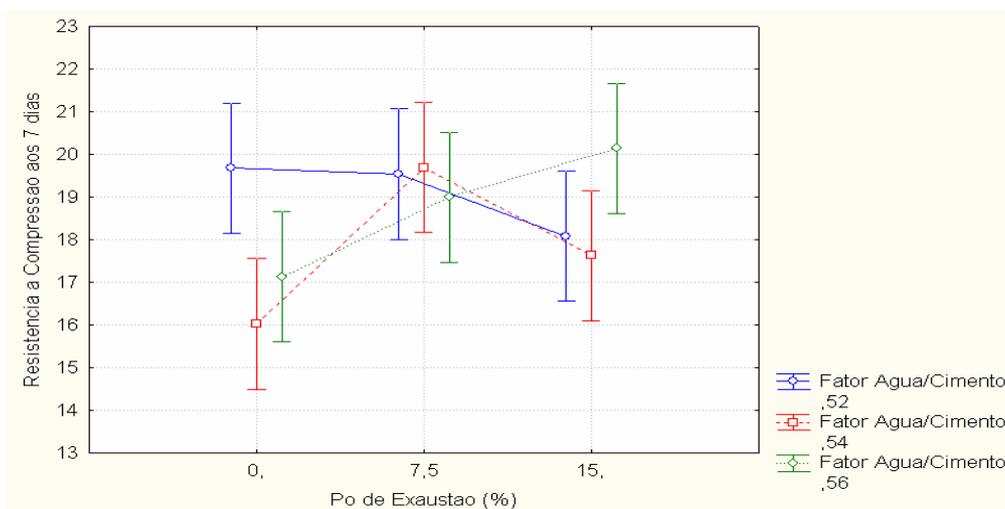


Figura 7 – Influência da interação da porcentagem do pó de exaustão com o fator A/C sobre a resistência à compressão aos 7 dias

Através da figura 7, pode-se analisar ainda melhor como a resistência à compressão aos sete dias comporta-se em relação aos fatores aqui discutidos. Quanto maior o fator água/cimento maior a resistência para a maior porcentagem de pó de exaustão. Observa-se a maior resistência para o menor fator água/cimento na ausência de pó de exaustão. Na figura 8 está apresentado o gráfico das curvas de nível da resistência a compressão aos 7 dias em relação aos fatores. Observa-se que a maior resistência é obtida com 6% de pó de exaustão e fator água/cimento 0,52 e 12% de pó de exaustão e fator água/cimento 0,56.

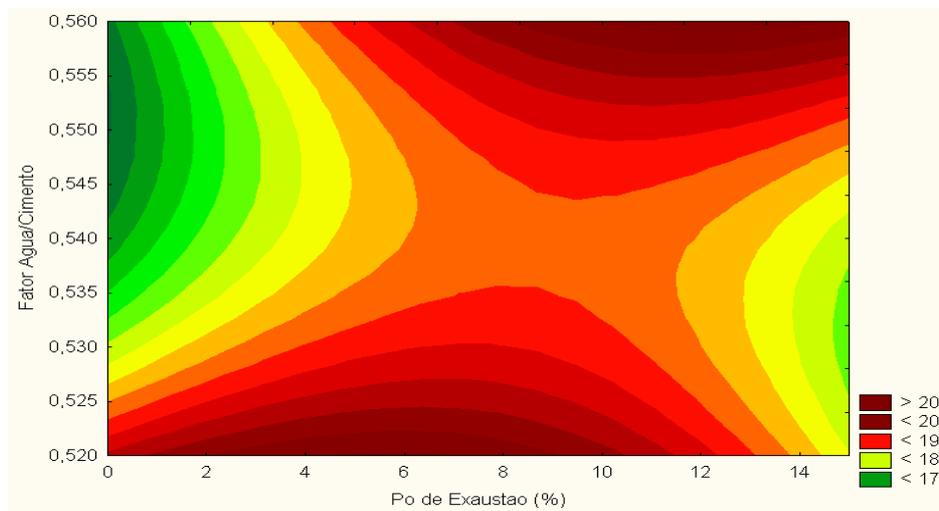


Figura 8 – Gráfico de curvas de nível da resistência à compressão a 7 dias (MPa)

Os resultados da resistência à compressão com 28 dias de idade foram analisados da mesma forma que a resistência à compressão para sete dias. A seguir verificam-se os resultados da resistência à compressão aos 28 dias de obtidos nos ensaios através da tabela 3.

Tabela 3 – Resistência à compressão a vinte e oito dias

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO A 28 DIAS (MPa)		Fator água/cimento		
		0,52	0,54	0,56
Porcentagem de pó de exaustão (%)	0	27,93	25,55	26,21
		27,10	26,24	21,29
		28,34	21,55	25,30
	7,5	22,15	27,18	28,45
		24,71	26,70	24,90
		22,80	24,65	22,65
	15	23,02	24,77	25,94
		21,04	23,88	24,16
		24,69	24,74	27,28

As figuras 9 e 10 apresentam a interação dos fatores na resistência à compressão aos 28 dias e o gráfico das curvas de nível da resistência à compressão aos 28 dias. Nas figuras 9 e 10 mostram que a maior resistência foi obtida usando-se maior fator água/cimento e no uso do pó de exaustão sendo a maior porcentagem de pó.

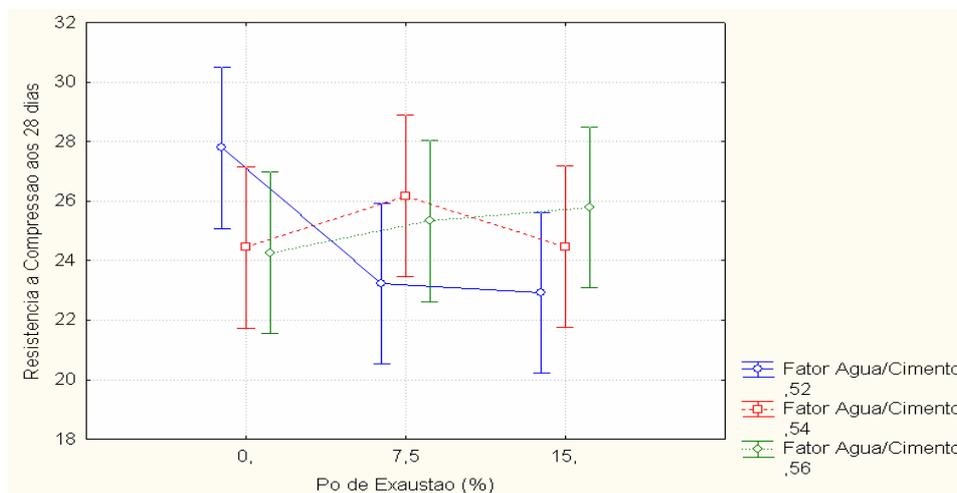


Figura 9 – Influência da interação da porcentagem do pó de exaustão com o fator A/C sobre a resistência à compressão aos 28 dias

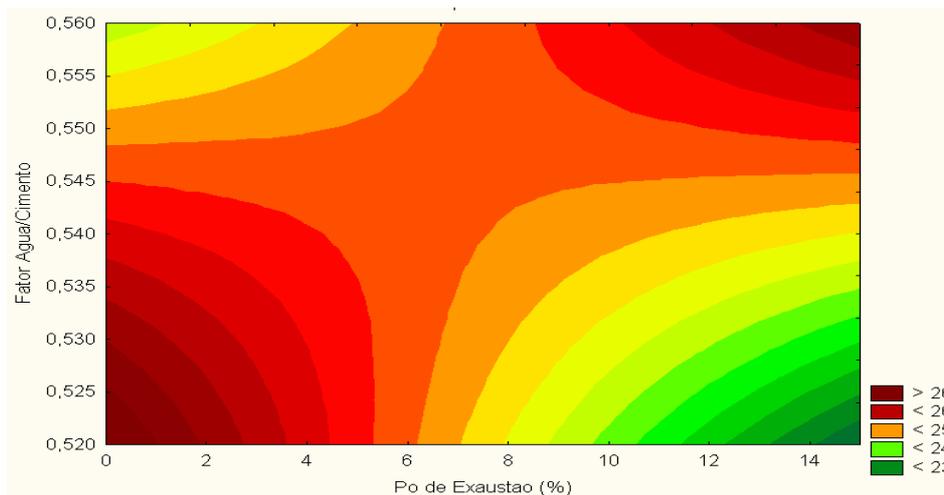


Figura 10 - Gráfico de curvas de nível da resistência à compressão aos 28 dias (MPa).

CONCLUSÕES

Tomando como base todos os dados obtidos e analisados, pode-se concluir que a areia natural proveniente de leito de rio pode ser substituída nas proporções (em massa) de 7,5% ou 15% pelo pó de exaustão da fundição. A alternativa diminui a quantidade de areia natural utilizada e aproveita os resíduos provenientes da indústria de fundição, material descartado em aterros controlados. É ainda importante ressaltar:

1. O pó de exaustão apresenta granulometria menor do que 0,6 mm e tem alto teor de material pulverulento o que dificulta o uso em proporções maiores que 15% (em massa) no agregado miúdo.
2. O fator que mais influenciou na resistência à compressão foi o fator água/cimento, aos 7 dias, sendo que quanto maior, menor a resistência.
3. A porcentagem de pó de exaustão para níveis superior a 15% não são desejáveis, pois afeta a resistência a compressão.
4. Para o maior fator água/cimento e a maior porcentagem de pó de exaustão tem-se a maior resistência à compressão.

REFERENCIAS

(1) ZANETTI, et.al. Foundry processes: the recovery of green moulding sands for core operations. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 38, p. 243-254, 2002.

(2) PAGNUSSAT, D.T. **Utilização de escória granulada de fundição (EGF) em blocos de concreto para pavimentação.** Dissertação (Mestrado Acadêmico) – Programa de Pós-Graduação de Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre. 2004.

(3) CARNIN, R. L. P. **Reaproveitamento do resíduo de areia verde de fundição como agregado em misturas asfálticas.** Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Química. Universidade Federal do Paraná, UFPR, Curitiba. 155p. 2008.

(4) MONTGOMERY, D. C. **Design and analysis of experiments.** New York, John Wiley & Sons, 1996.

FEASIBILITY STUDIES OF PARTIAL SUBSTITUTION OF NATURAL SAND FOR FOUNDRY EXHAUSTION POWDER IN THE CONVENTIONAL CONCRETE

ABSTRACT

This paper aim the use of exhaustion powder, foundry industry waste, in partial substitution of fine aggregate (natural sand) in the production of conventional concrete. The exhaustion powder incorporation was analyzed in the 0, 7.5% and 15% formulation from this by-product with different content of water/cement rates (0.52, 0.54, 0.56). In the material proprieties analyzing were found that exhaustion powder is a dusty material. The concrete compression mechanical resistance with 15% utilization of exhaustion powder was next to find the same amount with natural sand utilization. Analyzing the results through the experiment analyses, was possible verify that the foundry exhaustion powder use is feasible in the rates until 15% in partial substitution of natural sand in the concrete production without structural function.

Keywords: foundry exhaustion powder, concrete, fine aggregate