

USO DE RESÍDUO DE FUNDIÇÃO, PÓ DE EXAUSTÃO, EM ARGAMASSAS

C.C. dos Santos;

L. V.O. Dalla Valentina;

Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC/ Joinville

Sociedade Educacional de Santa Catarina - SOCIESC

Rua Paulo Malschitzki, s/n – PGCEM - Campus Universitário Prof. Avelino Marcante -

Bairro Zona Industrial Norte - Joinville-SC – Brasil - CEP 89219-710

caicivil@hotmail.com

RESUMO

As areias de fundição representam um dos resíduos sólidos industriais com maior volume de produção, que tem alto impacto ambiental. Este trabalho tem por objetivo o emprego do resíduo da indústria de fundição, pó de exaustão, em substituição parcial ao cimento Portland na confecção de argamassas. Analisou-se a incorporação do pó de exaustão nas argamassa, nas formulações de 0, 15 e 30% deste subproduto e com o teor do fator água/cimento de 0,5. Analisando os resultados das resistências a compressão, flexão e atividade pozolânica, foi possível verificar que o uso de pó de fundição exaustão é viável nas taxas de até 30% em substituição parcial ao cimento na produção de argamassas. O pó de exaustão é um material pulverulento e atóxico. A resistência mecânica nominal à compressão da argamassa com a utilização de 30% de pó de exaustão ficou próxima da resistência padrão.

Palavras-chave: argamassa, resíduo, pó de exaustão, resistência a compressão.

INTRODUÇÃO

Na formulação da argamassa além dos materiais tradicionais: cimento, cal, areia e água, foram incorporados o pó de exaustão, resíduo da indústria metalúrgica. Durante

muito tempo o setor industrial, em geral, desenvolveu suas atividades de produção de bens sem a preocupação com a redução da quantidade de resíduos. Com o surgimento de políticas nacionais voltadas a conservação do meio ambiente, passa a existir a consciência que a geração de novos produtos através da reciclagem de resíduos é uma alternativa concreta, já que o desenvolvimento sustentável requer uma redução do consumo de matérias-primas não renováveis.

Os principais resíduos sólidos gerados no processo de fundição são: areia de fundição, escória de fundição, pó de exaustão, lama de tratamento da água de refrigeração e cavaco de usinagem. Estes resíduos podem ser reutilizados em materiais de construção civil (MELLO, 2004; RIBEIRO, 2008). Especificamente, o pó de exaustão, material fino originado no processo de regeneração dos refugos dos moldes de areia de macharia quando da fabricação das peças metálicas, pode ser incorporado em concretos, argamassas e cerâmicas (KNOP, 2009; SANTOS, VALENTINA, SEMPTIKOVSKI e GALUPPO, 2010).

A importância do aproveitamento de resíduos na construção civil deve-se basicamente a possibilidade de desenvolvimento de material de baixo custo a partir de subprodutos industriais, disponíveis localmente, através da investigação de suas potencialidades e a interface direta do setor da construção com a cadeia produtiva fornecedora de insumos, bem minerais, e, indiretamente, através do potencial uso de materiais e processos que causem mínimo impacto na cadeia produtiva (ROCHA, JOHN, 2003).

A minimização dos resíduos faz parte de um novo conceito de gestão do meio ambiente com base em medidas sistemáticas concebidas principalmente para reduzir a quantidade máxima possível dos resíduos a serem tratados ou eliminados. As metas têm um quadro de ação baseada na prevenção e reciclagem de resíduos (MARIOTTO, 2000). A redução da geração de resíduos e reciclagem são práticas consideradas básicas e necessárias para atingir os objetivos ambientais e econômicos, reduzindo o consumo de materiais e diminuindo a disposição em aterros controlados (CARNIN, 2008).

Dos pesquisadores que já utilizaram o resíduo pó de exaustão, cita-se Knop (2009) estudou a viabilidade da incorporação do pó de exaustão em massa cerâmica, como a

massa atomizada do tipo semi-grês. Foram desenvolvidas formulações de diferentes teores do resíduo, sinterizados entre 1000°C e 1200°C, caracterizados quanto a propriedades tecnológicas como a absorção de água, retração linear densidade aparente, testes de resistência à flexão, resistência à abrasão além da análise morfológica. Com os resultados, foi comprovada a viabilidade do uso do resíduo. O resíduo promoveu um incremento no grau de sinterização e elevados teores do mesmo aumentam a formação de porosidade e intensificam a cor do novo material. Em geral não houve mudanças significativas nas propriedades físicas e mecânicas estudadas da massa cerâmica com a incorporação do subproduto pó de exaustão.

Este trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade de utilização do resíduo de fundição, pó de exaustão, em substituição ao cimento na produção de corpos de prova de argamassa.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados no processo experimental de argamassa foram:

- Resíduos de fundição, pó de exaustão, produzido em Joinville / SC;
- Areia de rio quartzo, extraída em Araquari / SC;
- Cimento CP-II-Z-32, da Votorantin;
- Cal CH III, da São Tomé;
- Água fornecida pela Companhia Águas de Joinville / SC.

Os passos experimentais foram os seguintes:

- Caracterização do resíduo de fundição e materiais;
- Produção de amostras de argamassa e
- Caracterização das amostras de argamassa.

A caracterização dos materiais foi realizada de acordo com as Normas ABNT. A Tabela 1 apresenta os ensaios químico, físico e ambiental realizados com o resíduo pó de exaustão de fundição.

Tabela 1. Testes realizados com o resíduo

ENSAIO COM RESÍDUO DE FUNDIÇÃO PÓ DE EXAUSTÃO	NORMA
Determinação da distribuição de tamanho de partícula (o método de difracção de laser)	PR-CC-062*
Determinação da análise química por espectrometria de fluorescência de raios-X	PR-CRI-097*
Determinação da espectrometria de absorção atômica	PR-CRI-098*
Determinação da toxicidade aguda	Portaria 017/2002-FATMA
Determinação da massa específica	ABNT NBR NM 52
Determinação da massa unitária	ABNT NBR 7251

(*) Norma da LCDM – SENAI/CRICIUMA-SC

A Tabela 2 apresenta os ensaios físicos normalizados com a areia natural de rio.

Tabela 2. Testes realizados com a areia natural de rio

ENSAIO A AREIA NATURAL DE RIO	NORMA
Determinação da distribuição granulométrica	ABNT NBR NM 248
Determinação da massa específica	ABNT NBR NM 52
Determinação da massa unitária	ABNT NBR NM 7251

Após os testes com os resíduos de fundição pó de exaustão, determinou-se a dosagem ideal da argamassa. Ao todo, três misturas de argamassa foram produzidas, um para cada combinação dos teores de resíduo escolhidos, pó de exaustão de fundição. As amostras de argamassa foram testadas nos estados fresco e endurecido. Os testes realizados com a argamassa estão descrito na Tabela 3.

Tabela 3. Testes realizados com as amostras de argamassa

TESTE NOS CORPOS DE PROVA DE ARGAMASSA	NORMA
Preparo da mistura e determinação do índice de consistência	ABNT NBR 13276
Determinação da resistência à compressão	ABNT NBR 101
Determinação da Atividade Pozolânica com Cimento Portland	ABNT NBR 5752

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente foi caracterizado o resíduo de fundição. A figura 1 está apresentada a curva granulométrica da distribuição de tamanho de partícula.

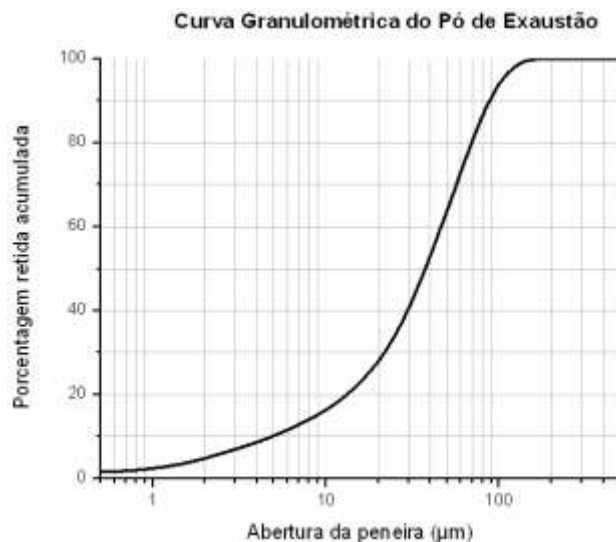


Figura 1. Curva granulométrica do pó de exaustão

Comprovando a baixa granulometria do resíduo, classificado como material pulverulento. Tais características granulométricas são função direta da intensidade da ação mecânica aplicada aos grãos (CORREIA, 2003). Através da figura 1, observa-se que 90% das partículas estão abaixo de 88,19µm. A adição do pó de exaustão em argamassa em grandes concentrações afeta diretamente na resistência da argamassa, pois necessita aumentar o fator água/cimento. Para a produção das argamassas, o resíduo foi peneirado na finura 45µm, a fim de possuir a mesma finura do cimento.

A tabela 4 apresenta a composição química e perda ao fogo do resíduo. Por espectrometria de fluorescência de Raios-X e espectrometria de absorção atômica.

Tabela 4 – Composição química e absorção atômica do pó de exaustão

Elemento	Teor (%)
Al ₂ O ₃	9,33
CaO	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
Cr ₂ O ₃	0,52
Perda Fogo	2,37

Observou-se que o material em questão contém em maior quantidade sílica (SiO_2) na forma de quartzo, pois sua matéria-prima base era a areia de rio que seria utilizada nos moldes de machos das peças fundidas. O material também apresenta alumínio e ferro, devido ao fato de que em sua preparação de moldagem ter havido adição óxido de ferro e também, material refratário de tintas. O valor de perda ao fogo de 2,37% pode ser eliminação de água da amostra e volatilização de material. Perdas de teor ao fogo evidenciam teores de materiais carbonáceos inferiores (PEIXOTO, 2003).

A análise da microestrutura foi realizada através do microscópio eletrônico de varredura (MEV). Este equipamento permitiu observar a forma e dimensão dos grãos de pó de exaustão de fundição. Na figura 2 é apresentada a micrografia do resíduo pó de exaustão utilizado nos experimentos. Pela figura 2 constata-se que o resíduo pó de exaustão tem forma lamelar irregular e de forma geral os grãos possuem diversos tamanhos na ordem de μm , abaixo de $180\mu\text{m}$.

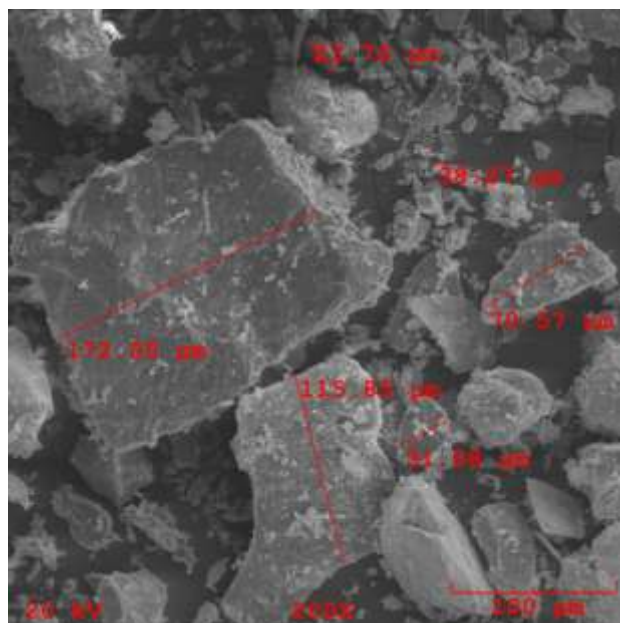


Figura 2 – Microestrutura do pó de exaustão

Os testes toxicológicos com o pó de exaustão visaram demonstrar que o resíduo de origem da indústria metal mecânica utilizado em argamassas não causará riscos ao meio ambiente ou a saúde pública. O resultado do ensaio com *Daphnia Magna* mostrou que o lixiviado da amostra atendeu o estabelecido pela Portaria 017/2002 (FATMA),

pois apresentou um fator de diluição correspondente a 2, pH de 7,37. Esta Resolução estipula um limite máximo de fator de diluição 4 para amostras provenientes de atividades industriais de origem metal mecânica para a *Daphnia magna*. Para o ensaio com *Vibrio fischeri*, o resultado mostrou que o lixiviado de pó de exaustão atendeu o estabelecido pela Portaria 017/2002 (FATMA), pois apresentou um fator de diluição correspondente a 6. A referida Resolução estipula um limite máximo de fator de diluição 6 para amostras provenientes de atividades industriais de origem metal mecânica com *Vibrio fischeri*. Com os resultados obtidos, verifica-se que o resíduo, pó de exaustão de fundição, atende aos limites prescritos por norma da FATMA, não apresentando riscos ao meio ambiente e a saúde pública.

Na determinação do traço ideal, foram determinadas a massa específica ($2,59 \text{ g/cm}^3$) e a massa unitária ($0,89 \text{ g/cm}^3$).

Na figura 3 apresenta-se o gráfico da distribuição granulométrica da areia natural de rio utilizada nas formulações das argamassas. Observa-se que a areia utilizada possui granulometria dentro dos limites utilizáveis e esta bem próxima dos limites ótimos. Portanto a mesma preenche bem os vazios na mistura de argamassa.

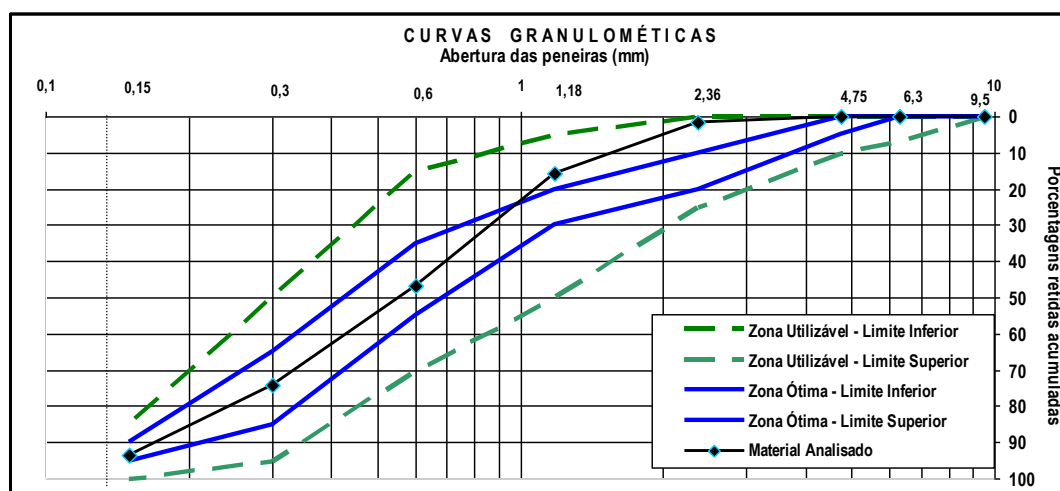


Figura 3. Distribuição granulométrica da areia natural de rio

Os valores encontrados do agregado miúdo, areia, para a massa específica foi de $2,60 \text{ g/cm}^3$ e a massa unitária = $1,50 \text{ g/cm}^3$. Estes valores foram determinados com o intuito de tomar conhecimento das características do material escolhido para a

produção dos corpos de prova. No momento da dosagem das argamassas precisou declarar os valores acima descritos.

O traço de argamassa adotado foi 1:1,5:6. Uma parte de cimento para uma e meia partes de cal e seis parte de agregado miúdo, areia de rio. O índice de consistência das argamassas ficou dentro do limite por Norma, em média 22,5cm. A tabela 5 apresenta a resistência a compressão da argamassa aos 28 dias.

Tabela 5. Resistência à compressão da argamassa aos 28 dias

RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO 28 DIAS(MPa)		Fator água/cimento 0,50
Porcentagem pó de exaustão (%)	0	4,51
		5,52
		4,37
	15	3,90
		4,17
		4,03
	30	3,50
		3,83
		3,30

Os resultados da resistência a compressão da atividade pozolânica estão apresentados na tabela 6. Para este ensaio foi utilizada areia graduada.

Tabela 6. Atividade Pozolânica do Pó de Exaustão aos 28 dias

RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO 28 DIAS(MPa)	Padrão	Pó de exaustão
	37,60	38,54
	40,51	38,64
	-	39,30
Média	39,06	38,83
%		99,04

Quando analisados os corpos de prova usados para os ensaios de determinação da massa específica, índice de vazios e absorção de água moldados aproximadamente a 40 dias de idade. Na tabela 7 mostra os resultados obtidos.

Tabela 7. Massa específica, índice de vazios e absorção de água por imersão

Porcentagem de pó de exaustão(%)	Absorção (%)	Índice de vazios (%)	Massa específica da amostra seca (g/cm ³)	Massa específica da amostra saturada (g/cm ³)	Massa específica real (g/cm ³)
0	17,03	30,90	1,81	2,12	2,63
15	16,59	30,24	1,82	2,12	2,61
30	16,31	29,73	1,82	2,12	2,59

Os resultados da massa específica, índice de vazios e absorção de água ficaram bem próximos aos valores do padrão.

CONCLUSÕES

Os objetivos da pesquisa foram alcançados no que tange a análise da caracterização física, química e morfológica do pó de exaustão e análise de resistência a compressão mecânica das argamassas.

Na caracterização do pó de exaustão apresentando-se pulverulento. Com aproximadamente 10% de óxido de alumínio e 4% de óxido de ferro, pois foi adicionado para sua moldagem resina uretânica e tintas. Os resultados ecotoxicológicos estavam dentro da norma vigente no Brasil, portanto o resíduo pó de exaustão de fundição não apresenta riscos à saúde pública.

Aos 28 dias de idade, os corpos de prova de argamassa que foram submetidos a análise de resistência a compressão apresentaram valores nominais próximas, diminuindo a resistência com o aumento da adição de pó de exaustão. O valor 99,06% da atividade pozolânica do pó de exaustão ficou dentro do limite aceitável por norma.

A viabilidade da incorporação é válida dentro dos níveis dos fatores adotados. A incorporação do sub-produto na argamassa é viável no aspecto de novas alternativas para a minimização de resíduos dispostos em aterros e reduz a quantidade de matéria-prima (areia) utilizada na construção civil.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Argamassa para revestimento e assentamento de parede e teto - Requisitos** – NBR 13.281/2005 Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Argamassa para revestimento e assentamento de parede e teto – Determinação da resistência a tração na flexão e a compressão** – NBR 13.279/2005 Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente** – NBR 52/2009 Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Determinação da composição granulométrica** – NBR 248/2003 Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Amostragem de Resíduos** – Procedimento – NBR 10007/2004. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Materiais Pozolânicos – Determinação da Atividade Pozolânica com Cimento Portland – Índice de Atividade pozolânica em cimento**– Procedimento – NBR 10005/2004. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Resíduos sólidos – Classificação** – NBR 10004/2004. Rio de Janeiro, 2004.

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. 2008.

KNOP, W. R. **Estudo da Viabilização da Incorporação do Pó de Exaustão em Massa Cerâmica**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. Universidade do Estado de Santa Catarina, UDESC, Joinville, 2009.

MARIOTTO, C. L.; **Regeneração de areias: uma tentativa de discussão sistemática**. Fundição & Matérias-Primas, Caderno técnico, São Paulo, p. A-T, jan.-fev. 2000.

MELLO, O. J. D. **Estudo da viabilidade da reutilização de resíduo de areia verde de fundição em argamassa colante – Enfoque ambiental**. - 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau.

PEIXOTO, F. **Regeneração térmica de areia ligada quimicamente**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais e Processos avançados. Universidade do Estado de Santa Catarina, UDESC. Joinville, 2003.

RIBEIRO, R. A. C. **Desenvolvimento de novos materiais cerâmicos a partir de resíduos industriais metal – mecânicos**. - 2008. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais), Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

ROCHA, J. C.; JOHN, V. M. **Utilização de Resíduos na Construção Habitacional**. Porto Alegre: Coletânea Habitare, v.4, 2003.

SANTOS, C. C. **Análise do Uso do Pó de Exaustão Proveniente do Sistema de Regeneração de Areia de Macharia em Concreto Convencional**. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - UDESC, Joinville, 2011.

SANTOS, C. C.; VALENTINA, L. V. O. D.; SEMPTIKOVSKI, S. C. e GALUPPO, W. C. Uso de Pó de Exaustão de Fundição em Substituição Parcial a Areia Natural no Concreto Convencional. In: 52º Congresso Brasileiro de Concreto, Porto de Galinhas – PE, 2010. **Anais**. Ref. 0487.

USE OF WASTE FOUNDRY, DUST EXHAUST IN MORTAR

ABSTRACT

The foundry sands represent one of industrial solid wastes with higher production volume, which has a high environmental impact. This work aims at the use of waste foundry industry, dust exhaust, partial replacement of Portland cement in the manufacture of mortar. Analyzed the incorporation of the exhaust powder in mortar in the formulations of 0, 15 and 30% of the byproduct and the content of the water / cement ratio of 0.5. Analyzing the results of resistance to compression, bending and pozzolanic activity, it was verified that the use of casting powder exhaust is feasible rates of up to 30% partial replacement of cement in manufacturing of mortars. The exhaust powder is a powdery material and nontoxic. The nominal compressive strength of the mortar with the use of 30% powder was close to exhaustion resistance standard.

Keywords: mortar, waste dust, exhaust, compression strength.