

Análise da viabilidade da utilização de resíduos do processo de fundição em areia verde na confecção de blocos solo-cimento

Niander Aguiar Cerqueira¹; Victor Barbosa de Souza²; Lucas Xavier Pereira da Silva³; Guilherme Moura Reis Coutinho³; Marcelo Neves Barreto⁴

¹ FAETEC, Fundação de Apoio ao Ensino Tecnológico, Av. Deputado Alair Ferreira 37, Parque Turf Club, 28024-600, Campos dos Goytacazes, RJ, Brazil

² UFF, Universidade Federal Fluminense, Rua Passo da Pátria 156, Campus da Praia Vermelha, São Domingos, 24210-240, Niterói, RJ, Brazil

³ UniRedentor, Centro Universitário Redentor, BR 356 25, Cidade Nova, 28.300-000, Itaperuna, RJ, Brazil

⁴ IFF, Instituto Fluminense Federal, Rua Dr Siqueira 273, Parque Dom Bosco, 28030-130, Campos dos Goytacazes, RJ, Brazil
e-mail: coord.niander@gmail.com

Resumo

O problema ambiental é um passivo muito importante que tem sido objeto de debates, estudos para buscar diminuir ao máximo todo tipo de rejeito provocado pelo homem. Os setores fabris são altamente geradores de resíduos que em sua maioria são descartados sem um fim adequado. A fundição é um modelo de produção antigo, barato e eficiente para fabricação de peças, e se dá pela fusão de metais. Porém, é considerada uma atividade altamente poluidora. Um dos processos de modelagem do metal é realizado por moldes fabricados em areia verde. Por conseguinte, essa areia vai perdendo suas propriedades mecânicas tornando-se posteriormente um rejeito de fundição. A construção civil vem procurando aperfeiçoar os processos de fabricação, optando por soluções rápidas e econômicas para a realização de seus projetos, e o bloco solo-cimento tem ganhado grande importância nesse cenário. A possibilidade de reutilizar esse rejeito como agregado na confecção de blocos solo-cimento pode minimizar os impactos ambientais, contribuindo tanto para diminuir a quantidade de resíduo que seria descartado ao ambiente, quanto para minorar a quantidade de solo retirada também na natureza. Com a visão de reutilização, este trabalho tem por objetivo a confecção de blocos solo-cimento, substituindo o solo em porcentagens correspondentes a 5, 10, 15 e 20% de rejeito de fundição em areia verde. O ensaio mecânico de compressão foi aplicado aos blocos unitários, nas referidas porcentagens, com resultados satisfatórios que demonstram a possibilidade da incorporação do resíduo na produção dos blocos. Esta seria uma alternativa viável tanto para a indústria geradora de rejeito quanto para o setor de construção civil.

Palavras-chave: Resíduo de fundição; Areia verde; Blocos prensados; Solo Cimento.

1. INTRODUÇÃO

Peças fundidas são produtos considerados básicos à maioria das cadeias produtivas. Devido a este fato, a fundição tem grande importância no crescimento industrial das nações [1] sendo adotada como um dos fatores indicativos de desenvolvimento. De acordo com pesquisa da ABIFA (Associação

Brasileira de Fundição), o Brasil já foi o sétimo maior produtor mundial no setor de fundição, mas devido à crise econômica, a produção sofreu uma queda. Porém, os números mostram resultados bem relevantes, chegando à marca de 194.275 toneladas produzidas em março de 2018 [2].

A fundição é considerada uma atividade altamente poluidora por causa dos grandes volumes de resíduos sólidos produzidos, sendo a areia descartada de fundição um dos principais deles. Isso faz pensar o destino de todos os rejeitos, bem como em uma maneira viável para reaproveitá-los para que o ambiente não sofra com esse impacto.

A fabricação de peças e ferramentas se dava por meio de outros métodos que antecederam o processo de fundição, dentre esses processos pode-se citar o talhamento, polimento, forjamento e a partir deste momento se dá o início da fundição [1].

Quando se trata de conformação de metais, a fundição é uma das melhores técnicas que podem ser empregadas, principalmente pelo fato de que, com esse método, é possível confeccionar peças de diversos modelos e tamanhos, de uma maneira relativamente básica e viável economicamente [3].

No Brasil a grande maioria das empresas de fundição é de pequeno para médio porte, com um número em torno de 1.400 empresas ao total. Essas empresas empregam mais de 50.000 trabalhadores de acordo com dados de março de 2018 [2]. A Fig.1 mostra em milhares de toneladas a produção brasileira de fundidos em cada mês no intervalo entre Jan/2013 e Mar/2018.

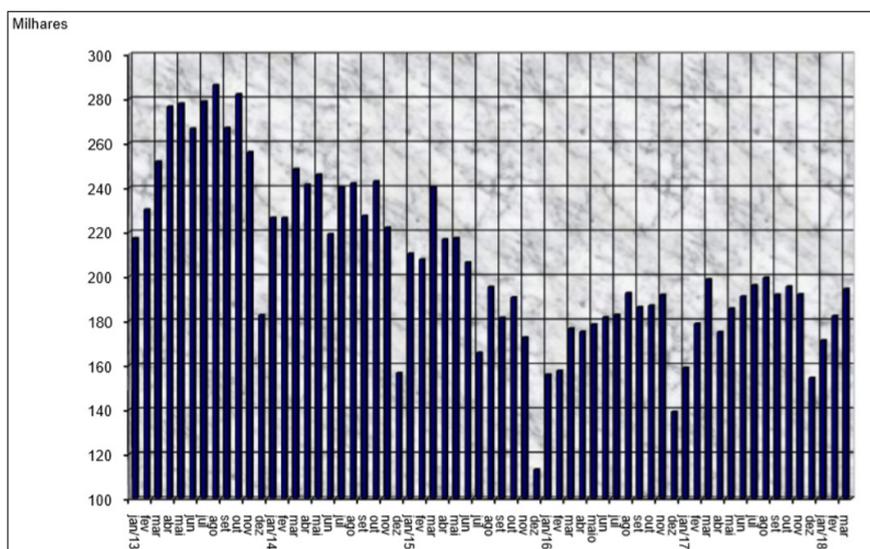


Figura 1. Produção nacional de fundidos de Jan/2013 e Mar/2018 [2]

Segundo a ABIFA [2], as maiores partes da produção nacional de fundidos estão nas regiões sudeste e sul do país, com destaque individual para o estado de São Paulo, que deteve aproximadamente 24% do total da produção de março/2018, e para Minas Gerais e Centro-oeste, que somados têm 29,3% da produção. O Rio de Janeiro, com 5,7% do total produzido, fabricou um montante de 3020 toneladas nesse único mês. Estes dados podem ser melhor analisados na Tab.1. Pode-se notar que o estado do Rio de Janeiro tem uma produção relevante no cenário nacional, consequentemente a produção de resíduos é proporcional.

Tabela 1. Produção nacional de fundidos por região [2]

Região	Março/2018	Fevereiro/2018	Março/2017
Centro/MG	15.556	15.476	15.148
Norte/NE	1.985	1.985	1.769
Rio de Janeiro	3.020	3.009	3.184
São Paulo	12.708	12.609	13.821
Sul	19.859	19.524	18.429
Total	53.128	52.602	52.351

Dentre os processos de fundição, o que utiliza a moldagem por areia verde é um dos mais utilizados, pois é um dos métodos mais simples e baratos de se conseguir peças fundidas. Porém, gera uma quantidade significativa de resíduos após a desmoldagem da peça fabricada.

A alvenaria é um dos meios de construção mais antigos que é até hoje utilizado, por se tratar de um método clássico. Obras com milhares de anos que foram erguidas pela técnica da alvenaria perduram até os dias atuais, como por exemplo, as pirâmides, localizadas no Egito, e o Coliseu, na Itália. Isso demonstra a confiabilidade da se usar blocos de diferentes tipos como meio de construção [4].

A utilização de alvenaria de blocos cerâmicos tem aumentado consideravelmente no Brasil, sendo objeto de muitos estudos nos últimos anos [5-7].

Podem-se definir blocos prensados como sendo aqueles confeccionados a partir da prensagem de terra no interior de um molde. As prensas utilizadas na produção dos blocos podem ser manuais ou hidráulicas. O tipo mais usual de bloco prensado é o denominado solo-cimento, em que o cimento é adicionado com a função de aglomerante, dando estabilidade ao bloco [7]. Na Fig.2 são mostrados diferentes modelos de blocos do tipo solo-cimento.



Figura 2. Blocos do tipo solo-cimento [7]

Desta forma, este trabalho tem como objetivo encontrar uma possível solução para este problema pela utilização deste resíduo em alvenaria, mais especificamente em confecção de blocos do tipo solo-cimento. A produção dos blocos solo-cimento se deu pela prensagem de uma mistura homogênea entre solo, cimento Portland e água, seguindo as proporções adequadas para mistura bem como as etapas da confecção, segundo a NBR 10833:2012 [8]. Na confecção dos blocos foram utilizadas as porcentagens de 5, 10, 15 e 20% do resíduo de fundição, usado na mistura em substituição do solo na mesma proporção.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os blocos foram confeccionados seguindo métodos definidos na norma NBR 10833:2012 [7]. O primeiro procedimento realizado foi o peneiramento do solo, para garantir que os grãos tenham tamanhos menores para uma melhor compactação. A Tab.2 apresenta a quantidade, em massa, de cada material utilizado nas diferentes porcentagens confeccionadas. A quantia apresentada é referente à fabricação de 15 blocos.

Tabela 2. Traço para confecção dos blocos

Traço	Solo (kg)	Resíduo (kg)	Cimento (kg)
5%	31,208	1,642	5,100
10%	29,565	3,285	5,100
15%	27,923	4,927	5,100
20%	26,280	6,570	5,100

A relação de proporção entre solo e cimento foi de 1:8 (cimento: solo), sendo que em cada quantidade de rejeito adicionado foi subtraída a quantidade de terra. Após realizadas as pesagens das matérias-primas, as mesmas foram misturadas manualmente, até se conseguir uma mistura com cor uniforme. A água foi colocada de forma gradual na mistura, até se conseguir uma umidade considerada ideal, que seria o ponto em que a massa apresente característica homogênea.

Posteriormente ao processo de mistura do solo, cimento, areia verde e água, foi realizada a etapa de prensagem da massa para se conseguir os blocos propriamente ditos. Na Fig.3 é mostrado um bloco após a etapa de prensagem.



Figura 3. Bloco prensado

Posteriormente à prensagem, os blocos foram levados ao processo de cura, uma importante etapa, pois é nesse momento que os blocos ganham resistência à compressão. O método da cura de blocos cerâmicos solo-cimento se iniciou no dia seguinte à prensagem. Os mesmos foram armazenados de forma a não perderem umidade para o ambiente e protegidos da ação do vento e do sol, sob uma lona. Durante os sete primeiros dias, por no mínimo 4 vezes em um período de 24h, os blocos eram descobertos e umedecidos, para assim garantir que o processo de cura fosse realizado da maneira correta.

Depois de realizada esta etapa, os blocos foram retirados da lona e armazenados em um ambiente seco, sendo esta outra etapa do processo de cura permanecendo ali por um período de 28 dias, tempo mínimo necessário para se atingir a máxima resistência.

Para realização do ensaio de compressão os blocos foram cortados ao meio e capeados, conforme estabelece a norma NBR 8491:1984 [8]. O processo de capeamento tem como objetivo conseguir uma superfície nivelada para realização de um ensaio com ótima qualidade.

Para realização dos ensaios de compressão nos blocos, foi utilizada uma prensa eletro hidráulica com indicador digital (Solotest), com capacidade 100 toneladas-força e um curso máximo de 30 mm. O ensaio foi executado a uma velocidade de 5 mm/min em uma amostragem de cinco blocos para cada porcentagem produzida

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores da resistência à compressão média, desvio padrão e coeficiente de variação dos blocos com 5, 10, 15 e 20% de resíduo são apresentados na Tab.3.

Tabela 3. Resistência média à compressão dos blocos

	Blocos 5%	Blocos 10%	Blocos 15%	Blocos 20%
Resistência Média (MPa)	3,06	4,84	5,48	6,5
Desvio Padrão	0,73	1,01	0,17	2,06
Coefficiente de variação (%)	23,85	20,97	3,1	6,5

Para critério de validação dos resultados encontrados foi aplicado o critério de Chauvenet, não tendo sido observada a necessidade de descarte de nenhuma amostra entre os corpos de prova ensaiados. Para uma melhor visualização dos resultados, na Fig.4 é representado um gráfico que relaciona as médias obtidas por cada porcentagem ensaiada, bem como a comparação com a linha de referência da resistência mínima estabelecida pela norma para blocos solo-cimento tanto para vedação, quando para uso estrutural.

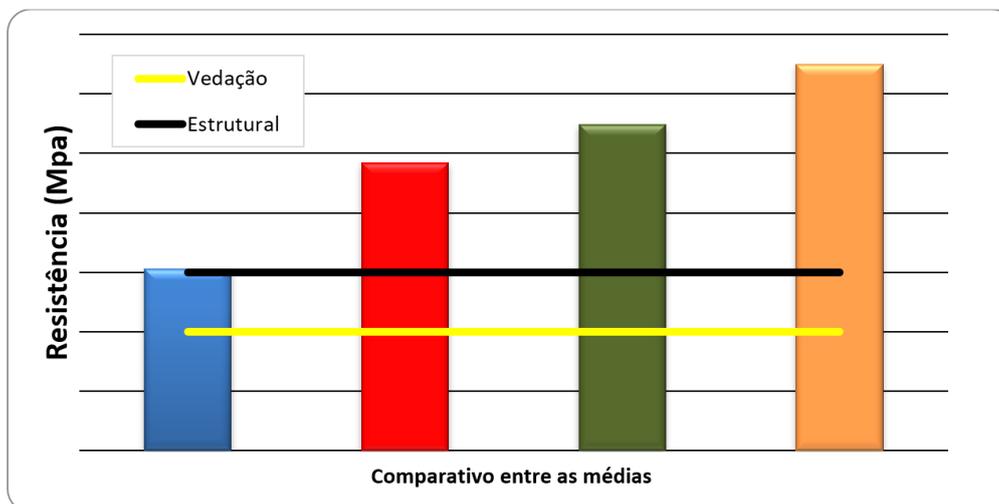


Figura 4. Gráfico comparativo entre as médias de resistência à compressão

Analisando os resultados apresentados na Tab.3 e no gráfico da Fig.4 é possível identificar um aumento da resistência à medida que há um aumento da quantidade de resíduo de fundição sendo incorporado à composição do bloco. Com relação à comparação entre as médias, verificou-se por meio da análise de variância (ANOVA), aplicando os testes F e t, que o ganho de resistência a cada aumento da incorporação de resíduo é real.

aplicando os testes F e t, que o ganho de resistência a cada aumento da incorporação de resíduo deve ser mais bem estudado, pois conforme as Tab. 4, 5 e 6, não se verificou ganho estatístico de resistência em todas as situações.

Tabela 4. Resultado do teste F para 10%

Tratamento	Observações					Média	Variância	n	F _{CAL}	F _{5%} (4,4)
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5					
10%	5,98	4,14	3,71	4,58	5,8	4,84	1,014	5	1,89	6,39
5%	3,95	2,94	2,01	2,89	3,51	3,06	0,535	5		

Da Tab.4 tem-se que F_{CAL} é menor que $F_{5\%} (4,4)$, portanto a hipótese H_0 não é rejeitada, ou seja, não há diferença entre os tratamentos, dispensando-se a análise via teste t.

Tabela 5. Resultado do teste F para 15%

Tratamento	Observações					Média	Variância	n	F _{CAL}	F _{5%} (4,4)
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5					
15%	5,45	5,27	5,75	5,43	5,5	5,48	0,030	5	17,72	6,39
5%	3,95	2,94	2,01	2,89	3,51	3,06	0,535	5		

Da Tab.5, verifica-se que F_{CAL} é muito menor que $F_{5\%} (4,4)$, portanto a hipótese H_0 é rejeitada, devendo ser realizado o teste t. De acordo com o teste t, obteve-se $t_{CAL} = 7,20$ e $t_{5\%} (5) = 2,015$, ou seja, a hipótese H_0 é rejeitada, sendo consideradas que há ganho estatístico para as resistências a nível de significância de 5%.

Tabela 6. Resultado do teste F para 20%

Tratamento	Observações					Média	Variância	n	F _{CAL}	F _{5%} (4,4)
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5					
20%	7,02	6,3	6,73	5,98	6,45	6,50	0,159	5	3,36	6,39
5%	3,95	2,94	2,01	2,89	3,51	3,06	0,535	5		

Da Tab.6 verifica-se que F_{CAL} é menor que $F_{5\%}$ (4,4), portanto a hipótese H_0 não é rejeitada, dispensando-se a análise via teste t.

A linha de tendência dos valores médios apresenta uma equação $y = 2,39\ln(x) + 3,0711$, com $R^2 = 0,9883$. Embora haja uma tendência de crescimento da resistência média, é preciso fazer outros ensaios para validar a utilização, considerando outras propriedades fundamentais para os blocos de solo cimento.

Presas [9] encontrou após 28 dias de cura em seus blocos, sem acréscimo de rejeito, valores de compressão de 2,2 MPa, resultado inferior às médias apresentadas neste estudo. O solo utilizado pelo mesmo na confecção dos blocos continha quantidade de argila e areia de 25,2% e 69% respectivamente, enquanto a quantia de argila e areia encontrada no solo do presente trabalho foi de 34,8% e 30,3%. A diferença de resistência se dá por essa questão, pois o ideal para a confecção desses blocos é que a porcentagem de argila no solo esteja compreendida entre 30% a 70% em sua composição, pois se torna plástica e modelável para a realização da produção. Outro motivo pode estar ligado à prensa utilizada, pois prensas diferentes geram compactações diferentes, podendo causar diferença na resistência.

Dantas et. al [10] constataram que seus blocos de solo-cimento após 28 dias de cura obtiveram um resultado médio de 6,76 MPa, resultado que não se distancia dos obtidos neste trabalho, sendo essa semelhança explicada pelas características parecidas do solo utilizado.

Quando comparadas aos valores de 2 e 3 MPa que a norma especifica, para blocos de vedação e estruturais, respectivamente, todas as médias ficaram acima do mínimo para ser estrutural, portanto, os resultados de compressão foram satisfatórios.

4. CONCLUSÕES

Em relação à resistência à compressão, principal propriedade mecânica que o bloco deve apresentar, a norma estabelece que o mínimo de resistência necessária é de 2 MPa para vedação e 3 MPa para uso estrutural. Com este parâmetro, os resultados de todas as porcentagens foram satisfatórios, apresentando valores superiores a 3 MPa, sendo que a resistência à compressão aumentou de acordo com o aumento de porcentagem do resíduo na composição.

Para os blocos com 5% a resistência média à compressão foi de 3,06 MPa. Para os confeccionados com 10% de rejeito, a resistência foi de 4,84 MPa. O valor médio obtido nas amostras de 15% foi de 5,48 MPa. Por último, os ensaios nos blocos com 20% de resíduo apresentaram o maior valor médio, 6,5 MPa, mais do que o dobro dos 3 MPa indicados para uso estrutural.

Portanto, os blocos confeccionados com resíduo de fundição em areia verde em sua composição, com as referidas porcentagens, com relação à resistência média à compressão, foram considerados aptos a serem utilizados em construções de pequeno porte com segurança.

Outras análises deverão ser feitas para validação da metodologia, mas já há uma excelente alternativa se demonstrando a partir dos resultados encontrados e validados no presente trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] Siegel M. Processos de fundição: Generalidades, considerações gerais sobre a escolha do processo, importância relativa dos diversos processos. 10ª ed. Associação Brasileira de Metais ABM, 1978.
- [2] ABIFA. Associação Brasileira de Fundição. Índices de Mercado, 2018. <http://www.abifa.com.br>
- [3] Kondic V. Princípios metalúrgicos de fundição. 1ª ed. São Paulo: Polígono, 1973.
- [4] Sánches E. Nova normalização brasileira para a alvenaria estrutural. Rio de Janeiro: Interciência, 2013.
- [5] Cerqueira N A, Alexandre J, Xavier G C, Souza V B, Azevedo A R G. Comportamento físico e mecânico de blocos prensados e queimados de cerâmica vermelha. Cerâmica Industrial 22 (5-6) 2017.

- [6] Cerqueira N A, Marvila M T, Azevedo A R G, Alexandre J, Xavier G C, Souza V B. Analysis of deformability modulus by linear and nonlinear elastic methods in ceramic structural masonry and mortars. *Cerâmica* 66 (379) 2020.
- [7] Cerqueira N.A. Parâmetros físicos e mecânicos de blocos prensados e queimados de cerâmica vermelha para uso como alvenaria estrutural. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2017.
- [8] NBR 10833:2012. Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica — Procedimento. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013.
- [9] NBR 8491:1984. Tijolos maciços de solo-cimento: Determinação da resistência à compressão e da absorção de água. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984.
- [10] Presa M B. Resistência à compressão e absorção de água em tijolos de solo-cimento. Monografia de Graduação. Faculdade de Agronomia. Brasília: Universidade de Brasília, 2011.
- [11] Dantas V B et al. Desenvolvimento de blocos solo-cimento com três intervenções: Solo natural, solo corrigido com areia e solo mais materiais de mudança de fase. Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2014.