

# FUNDIÇÃO DE PEÇAS EM AÇO MANGANÊS E AÇO CARBONO EMPREGANDO MOLDES DE AREIA SILICOSA ARTIFICIAL PROVENIENTE DE REJEITO ARENOSO\*

*Leandro Moreira Carneiro<sup>1</sup>  
Ricardo Augusto Martins Figueiredo<sup>2</sup>  
Sávio José de Oliveira<sup>3</sup>  
Cláudio Batista Vieira<sup>4</sup>  
Maria Aparecida Pinto<sup>5</sup>  
Guilherme Francisco de Sales Silva<sup>6</sup>  
Gil Ribeiro Vilela Neto<sup>7</sup>*

## Resumo

A maioria dos processos de fundição utilizam moldes de areia para o vazamento do metal líquido, sendo a areia silicosa um dos tipos mais empregados. Nesse contexto, objetivou-se nesse trabalho analisar o desempenho de um tipo de areia silicosa artificial para confecção de moldes e machos visando a produção de peças em aço carbono e aço manganês. A areia artificial foi produzida em planta piloto a partir do processamento do rejeito de flotação de minério itabirítico da empresa Samarco Mineração S.A., englobando as etapas de classificação, lavagem e secagem. Foram preparados moldes com a areia artificial e seu desempenho foi comparado ao de moldes utilizando areia empregada no processo de fundição da empresa Siderúrgica Itabirito Ltda. (areia de processo), provenientes da Mineração Jundu, considerada areia padrão para fundição. A partir dos moldes em areia artificial e em areia de processo foram produzidas peças em aço manganês e aço carbono na empresa Siderúrgica Itabirito Ltda. A partir de análises da qualidade superficial das peças produzidas, foi possível concluir que a areia artificial tem grande potencial para uso em empresas de fundições para confecções de moldes para a produção de peças em aço manganês e aço carbono.

**Palavras-chave:** Areia Silicosa; Rejeito Arenoso; Aço Carbono; Aço Manganês.

## CASTING OF MANGANESE STEEL AND CARBON STEEL PARTS USING ARTIFICIAL SILICON SAND MOLDS FROM FLOTATION TAILINGS

### Abstract

Most of the casting processes use sand molds to cast liquid metal, and silica sand is one of the most used types. In this context, the objective of this work was to analyze the performance of a type of artificial silica sand for the preparation of molds and cores for the production of parts in carbon steel and manganese steel. The artificial sand was produced in a pilot plant from Samarco Mineração S.A.'s processing of flotation of itabirite ore from encompassing the classification, washing and drying stages. Artificial sand molds were prepared and its performance was compared to that of molds using sand of foundry process of the company Siderúrgica Itabirito Ltda. (process sand), from Jundu mining, which is considered standard casting sand. From the molds in artificial sand and process sand were produced manganese steel and carbon steel parts in Siderúrgica Itabirito Ltda.. Analyzing the surface quality of the parts, as well as the presence of defects in the same, and comparisons between them, was possible to conclude that artificial sand has great potential for use in foundry companies for the manufacture of molds for the production of manganese and carbon steel.

**Keywords:** Silica Sand; Flotation Tailings; Carbon Steel; Manganese Steel.

- <sup>1</sup> Engenharia Metalúrgica, Engenheiro, Mestrando, REDEMAT, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, Brasil.
- <sup>2</sup> Engenharia de Minas, Mestre, REDEMAT, Universidade Federal de Ouro Preto, MG, Brasil.
- <sup>3</sup> Engenharia Metalúrgica, Engenheiro, Mestrando, REDEMAT, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, Brasil.
- <sup>4</sup> Engenharia Metalúrgica, Doutor, Professor, Departamento de Metalurgia e de Materiais, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, Brasil.
- <sup>5</sup> Engenharia Metalúrgica, Doutora, Professora, Departamento de Metalurgia e de Materiais, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, Brasil.
- <sup>6</sup> Engenharia Metalúrgica, Engenheiro, Mestrando, REDEMAT, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, Brasil.
- <sup>7</sup> Engenharia Metalúrgica, Mestre, Engenheiro, Engenheiro de Desenvolvimento Tecnológico, Samarco Mineração S.A, Belo Horizonte, MG, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

Os moldes refratários utilizados nos processos de fundição são constituídos de areia de fundição, que é um material heterogêneo composto por um elemento granular refratário e um elemento aglomerante, que pode ser mineral (argila base), inorgânico ou orgânico, sendo as areias de sílica, cromita, olivina, chamote e zirconita, as mais utilizadas na fundição [1,2].

Com o objetivo de aproveitar materiais que atualmente são considerados rejeitos no processo de beneficiamento de minérios itabiritos, estudos veem sendo realizados, aspirando novas formas de aproveitamento dos mesmos. Entretanto, a utilização destes materiais ainda se mostra restrita. Desta forma, Figueiredo [3] e Oliveira [4] iniciaram investigações quanto ao uso do rejeito arenoso para emprego em processos de fundição (moldagem e macharia).

Ensaio analítico (umidade, distribuição granulométrica, módulo de finura e teor de finos, forma e estrutura dos grãos, permeabilidade, perda por calcinação, demanda ácida, potencial hidrogeniônico), responsáveis por caracterizar os componentes das areias para emprego na fundição [5], bem como ensaios de compactabilidade, resistência à compressão, à flexão e à tração, foram realizados por Figueiredo [3], visando a caracterização de uma areia silicosa artificial, proveniente do rejeito arenoso da empresa Samarco Mineração S.A. Para efeito de comparação, os mesmos ensaios foram executados em uma areia recuperada utilizada no processo de fundição da empresa Siderúrgica Itabirito Ltda., sendo a areia base proveniente da Mineração Junduque é considerada de alta qualidade para a confecção de moldes e machos. Os resultados de alguns dos ensaios analíticos realizados são apresentados na Tabela 1, enquanto os resultados das análises das resistências à tração e à flexão são mostrados na Figura 1 e na Figura 2, respectivamente.

Tabela 1 – Caracterização analítica da areia artificial e da areia de processo [3]

<b>Ensaio/Amostra</b>	<b>Areia Artificial</b>	<b>Areia de Processo</b>
<b>Módulo de finura (AFS)</b>	68,17	46,34
<b>Classificação da areia</b>	Média	Grossa
<b>Teor de finos (%)</b>	0,95	0,59
<b>Umidade</b>	0,04	0,20
<b>Permeabilidade</b>	122	190
<b>Perda por calcinação (%)</b>	0,35	2,23
<b>Demanda ácida (ml)</b>	0,75	18,85
<b>pH</b>	6,61	7,08

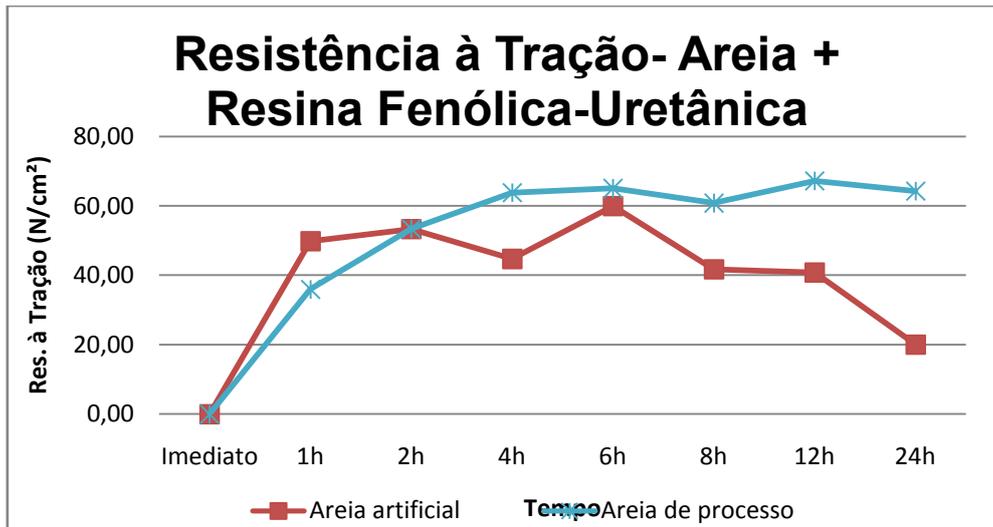


Figura 1 - Resultado dos ensaios de resistência à tração da areia artificial e da areia de processo [3].

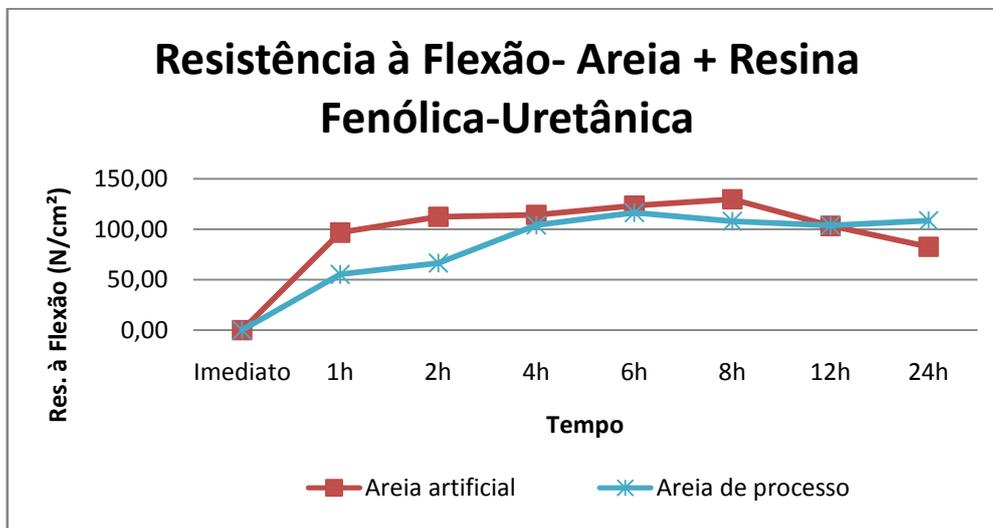


Figura 2 - Resultado dos ensaios de resistência à flexão da areia artificial e da areia de processo [3].

Visto a proximidade entre os resultados dos parâmetros analisados, Oliveira [4] fabricou peças em alumínio utilizando moldes confeccionados com a areia artificial aglomerada com resina fenólica-uretânica, a partir do processo de cura a frio (Figura 3). Os resultados foram muito satisfatórios, uma vez que as peças apresentaram excelente acabamento superficial e não apresentaram defeitos relacionados às características da areia [4].



Figura 3 - Vista frontal da peça em alumínio fundida com molde de Areia Artificial com resina de cura a frio [4].

Baseado nos bons resultados apresentados por Figueiredo [3] e Oliveira [4], analisou-se, neste trabalho, a viabilidade do uso da areia artificial, proveniente do rejeito arenoso da empresa Samarco Mineração S.A., na produção de peças em aço carbono e aço manganês, uma vez que esses materiais requerem uma maior resistência do molde de areia durante o vazamento do metal líquido. Além disso, as peças produzidas foram comparadas com peças moldadas em areia de processo da empresa Siderúrgica Itabirito Ltda.

Realizado a fusão, desmoldagem, corte de canais e rebarbação, analisou-se possíveis defeitos e imperfeições nas peças fundidas para validar ou não a utilização da areia silicosa artificial em questão, na fabricação de peças em aço carbono e aço manganês.

## 2 Materiais e Métodos

Para este trabalho foram utilizados dois tipos de areia. Uma areia silicosa artificial proveniente do rejeito arenoso do beneficiamento de minério itabirítico da empresa Samarco Mineração S.A. (a partir daqui denominada apenas areia artificial), e uma areia recuperada utilizada no processo de fundição da empresa Siderúrgica Itabirito Ltda (a partir daqui denominada apenas areia de processo).

Foram confeccionados moldes com a areia artificial e a areia de processo, utilizando o método de cura a frio com resina fenólica-uretânica, para a produção de peças em aço carbono e aço manganês.

Os moldes utilizando a areia artificial foram confeccionados no Laboratório de Fundição do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, enquanto os moldes utilizando a areia de processo foram confeccionados na Siderúrgica Itabirito Ltda. A confecção dos moldes foi feita pelo mesmo técnico, diminuindo possíveis diferenças nos resultados devido ao fator humano.

A peça escolhida para desenvolvimento deste projeto foi um suporte de eixo de esmeril, cujo modelo é de madeira. Tal modelo foi posicionado corretamente na caixa de moldar, sendo que para os moldes de areia artificial, empregou-se pó de grafite para auxiliar na retirada do modelo do molde após a cura da areia, enquanto nos moldes de areia de processo foi utilizado talco.

Para a confecção dos moldes em areia artificial, utilizou-se um misturador de mós de laboratório. Foram utilizadas as resinas Cold Set CS 1033 Parte I e Cold Set CS 1055 Parte II (0,7% em peso de cada resina com relação ao peso da areia) e catalisador de amina (5% em peso sobre a Parte II da resina) da fabricante da Buntech. Areia e a resina Parte I foram adicionadas ao misturador que permaneceu

ligado até que se completassem 46 voltas. Em seguida, adicionou-se resina parte II e o catalisador que foram misturados à areia até que novamente o misturador completasse 46 voltas. Esse método de preparo está de acordo com a norma CEMP 155 da Associação Brasileira de Fundição [7].

Os moldes com areia artificial, produzidos no Laboratório de Fundição da Escola de Minas da UFOP, em Ouro Preto-MG, foram transportados via rodovia até a Siderúrgica Itabirito Ltda., em Itabirito-MG, distantes 46km. Os moldes foram bem acondicionados de forma que não houvesse danos durante o transporte.

Os moldes em areia de processo, confeccionados na Siderúrgica Itabirito Ltda., foram produzidos com areia de cura a frio normal de processo da empresa, utilizando o mesmo modelo da peça suporte de eixo de esmeril.

A fusão do metal foi realizada em fornos elétricos a indução, Siderúrgica Itabirito Ltda., sendo que as temperaturas de vazamento dos aços manganês e carbono foram de 1600°C e 1500°C, respectivamente. Os moldes foram vazados em sequência e, após solidificação e resfriamento, as peças foram desmoldadas, procedeu-se o corte dos canais, rebarbação, limpeza e a análise para verificação das condições gerais das peças produzidas para validar ou não a utilização da areia artificial para a fabricação de moldes para produção de peças em aço.

### 3 Resultados e Discussão

Análises da composição química dos materiais fundidos mostraram estar de acordo com as especificações desejadas para produção de peças em aço carbono e em aço manganês. Os moldes em areia, bem como as peças fundidas, são apresentados a seguir.

#### 3.1 Moldes com areia artificial

Os moldes preparados com areia artificial apresentaram resultados satisfatórios (Figura 4). Sua cura foi rápida e exibiu boa resistência e possibilidade de ser transportada de Ouro Preto (onde foi confeccionado) para Itabirito (onde foi vazado o metal líquido).



Figura 4 – Partes do molde preparado com a areia artificial.

Os moldes, devidamente preparados, não apresentaram quebras e seus canais mostraram-se visualmente adequados. Entretanto, verificou um menor grau de compactação da areia na região das bases de fixação do suporte.

Durante o vazamento do metal, não foram observados problemas para preenchimento do molde e, na desmoldagem, a areia apresentou boa colapsibilidade.

### 3.2 Moldes com areia de processo

A Figura 5 apresenta o molde produzido com a areia de processo. Ambos os moldes apresentaram boa qualidade e resistência adequada para a fundição das peças.

Assim como o molde preparado com a areia artificial, o molde confeccionado com a areia de processo apresentou menor grau compactação na região da base de fixação do suporte em comparação com o restante do molde. Vale ressaltar que tanto os moldes com areia de processo quanto os moldes com areia artificial foram feitos pelo mesmo operador para permitir a comparação entre as peças produzidas.

Não houve problemas no preenchimento do molde durante o vazamento do metal e, na desmoldagem, a areia de processo também apresentou boa colapsibilidade.



Figura 5 – Parte do molde preparado com a areia de processo já com a colocação do macho.

### 3.3 Peças em Aço Carbono e Aço Manganês – Moldes em Areia Artificial

As peças em aço carbono e aço manganês confeccionadas utilizando moldes com areia artificial apresentaram acabamento superficial muito satisfatório, até mesmo melhor do que aquele das peças produzidas empregando-se moldes com a areia de processo. Nenhum tipo de defeito decorrente de características da areia foi observado.

As Figuras 6 e 7 apresentam as peças em aço carbono, e aço manganês, respectivamente, após a desmoldagem, produzidas em moldes de areia artificial, enquanto nas Figuras 8 e 9 é possível visualizar as peças após corte de canais, rebarbação e limpeza.



Figura 6 - Peça em aço carbono produzida a partir de molde de areia artificial após desmoldagem.



Figura 7 - Peça em aço manganês produzida a partir de molde de Areia Artificial após desmoldagem.



Figura 8 - Peça em aço carbono produzida a partir de molde de areia artificial após corte rebarbação e limpeza.



Figura 9 - Peça em aço carbono produzida a partir de molde de areia artificial após corte de canais, rebarbação e limpeza

Verificou-se a presença de rechupena base de fixação do suporte de eixo de esmeril(Figura 10) decorrente do projeto inadequado do sistema de alimentação, onde o massalote não atendeu às exigências de contração do metal. Rechupes, nesse local da peça, também foram observados nas outras peças produzidas neste projeto.



Figura 10- Rechupe apresentado na peça em aço carbono – Molde de areia artificial.

Além do rechupe, nas demais peças verificou-se a presença de defeito ocasionado por arraste de areia (erosão) na região da base de fixação do suporte de eixo de esmeril (Figura 11). A causa do defeito está relacionada com o processo de compactação da areia durante a confecção do molde (especificamente nessa região). Pode-se verificar que no restante da peça o acabamento superficial é bom, não apresentando problemas de erosão, o que mostra que a resistência da areia estava adequada.

A peça também apresentou outra imperfeição que foi a inclusão de areia em sua parte superior. Tal defeito ocorreu devido ao arraste da areia da base de fixação do suporte do eixo de esmeril devido à erosão nessa seção da peça (Figura 12).



Figura 11 – Acabamento grosseiro na região da base de fixação do suporte de eixo devido a falha na compactação do molde.



Figura 12 - Inclusão devido ao arraste de areia da região da base de fixação do suporte do eixo de esmeril.

Apesar dessas imperfeições, a areia artificial se mostrou satisfatória para a utilização no processo de fundição de peças em aço carbono e aço manganês, já que os defeitos apresentados estão relacionados à compactação inadequada e a falhas no projeto do sistema de alimentação, que são fatores que não estão diretamente relacionados à resistência da areia ou qualquer de suas outras características.

### 3.4 Peças em Aço Carbono e Aço Manganês – Moldes em Areia de Processo

As peças em aço carbono e aço manganês fabricadas a partir da areia de processo apresentaram resultados satisfatórios, com bom acabamento superficial, o que era de se esperar, uma vez que essa areia é utilizada na Siderúrgica Itabirito Ltda. para o processo de fundição.

No entanto, também se verificou a presença de rechupe na região da base de fixação do suporte de eixo de esmeril (como em todas as outras peças deste projeto), e também rechupe na extremidade da base (Figura 13).



Figura 13 -Presença de rechupe na peça em aço carbono fundida a partir de molde de areia de processo

Tais observações são relevantes para a análise das peças, uma vez que, por ser a areia de processo utilizada diariamente na produção industrial de peças fundidas, a presença de rechupes e acabamento grosseiro na região da base de fixação do suporte confirmam as premissas que as imperfeições ocorridas nas peças são devidas a erros de projetos, e não por problemas relacionados às características das areias.

A análise comparativa entre as peças produzidas com as duas areias (artificial e de processo) mostrou que o acabamento superficial foi melhor nas peças produzidas com a areia artificial, indicando suas boas características de fundição, cujos bons resultados de caracterização física e tecnológica foram apresentados por Figueiredo [3]. Além disso, os resultados das peças produzidas corroboram os resultados apresentados por Oliveira [4] na produção de peças fundidas em alumínio.

#### 4 CONCLUSÕES

Em todas as peças fundidas, em aço carbono e aço manganês, em moldes de areias artificial e de processo, houve a presença de rechupes na base de fixação do suporte de eixo de esmeril. No entanto, tal falha não está ligada à falta de resistência ou a outras características das areias, como permeabilidade, umidade ou perda por calcinação, uma vez que esses parâmetros analisados atingiram valores satisfatórios de acordo com as normas para areias de fundição.

Os rechupes foram devido ao projeto inadequado do sistema de alimentação (falta de massalote) que não atendeu às exigências de contração do metal.

O acabamento grosseiro na região da base de fixação do suporte de eixo foi provocado pela inadequada compactação do molde nessa região, estando presente em todas as peças produzidas, independentemente da areia utilizada, mostrando que este defeito não está ligado às características propriamente ditas das areias.

Dessa forma, tem-se que as peças fundidas em aço carbono e aço manganês utilizando molde com a areia artificial apresentaram ótimo acabamento superficial, até mesmo melhor do que apresentado pelas peças produzidas a partir de moldes com a areia de processo da Siderúrgica Itabirito Ltda. Tal característica é indicativo que a areia artificial apresenta boas condições para ser utilizada como areia de fundição quando comparada com a areia proveniente de processo industrial.

Nas condições estudadas, concluiu-se que areia artificial tem um grande potencial para ser utilizada em processos de moldagem para fundição de peças em aço manganês e aço carbono.

### **Agradecimentos**

Aos professores Cláudio Batista Vieira e Maria Aparecida Pinto; à Samarco Mineração S.A.; à FEOP – Fundação Educativa de Rádio e Televisão Ouro Preto; à Siderúrgica Itabirito Ltda. A Ricardo Augusto Martins Figueiredo, Sávio José de Oliveira, Guilherme Francisco de Sales Silva, Gil Ribeiro Vilela Neto e aos colaboradores dos laboratórios do Departamento de Metalurgia e de Materiais da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto.

### **REFERÊNCIAS**

- 1 BROSCH, C. D. Areias de Fundição. Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT), 1952. 135p.
- 2 MUCHON, L. G. O. Caracterização das areias silicosas de Minas Gerais usadas em moldagem. 1988. 77f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas). Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1988.
- 3 FIGUEIREDO, R.A.M. Caracterização tecnológica de areias silicosas para processos de fundição. 2016. 91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Rede Temática em Engenharia de Materiais-REDEMAT, Universidade Federal de Ouro Preto, 2016.
- 4 OLIVEIRA, S. J. Estudos de dois tipos de areias silicosas artificiais para aplicação na indústria de fundição de alumínio. 2016. 58f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Metalúrgica) - Departamento de Engenharia Metalúrgica, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 2016.
- 5 FERREIRA, J. M. G. C. Tecnologia da Fundição. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1999. 544p.
- 6 SOARES, G. D. A. Fundição: Mercado, Processos e Metalurgia. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro. p. 123, 2000. (Apostila).
- 7 Associação Brasileira de Fundição - ABIFA. Comissão Estudos de Matéria Prima – CEMP-155. Resina Cura a Frio para Fundição – Preparação da Mistura Padrão. São Paulo, 1991. Rev. 2015. Disponível em: <http://www.tecnofund.com.br/cemp/normas/155.pdf>. Acesso em 11 fev. 2018.