

## **REDIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO DE UM MODELO PARA FUNDIÇÃO: ESTUDO DE CASO**

MENEZES, Valcir Marques de <sup>1\*</sup>, SANTOS, Diego Michael Cornelius dos <sup>2</sup>, DALCIN,  
Rafael Luciano <sup>3</sup>, KACH, Sirnei César <sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade Horizontina, Campus Arnaldo Schneider, Avenida dos Ipês, 565, Horizontina, RS, Brasil.

<sup>4</sup> Curso de Engenharia de Produção, Faculdade Horizontina, Campus Arnaldo Schneider, Avenida dos Ipês, 565, Horizontina, RS, Brasil.

\*Autor Correspondente: vm001875@fahor.com.br.

### **RESUMO**

Por mais antigo que o processo de fundição possa ser, ele continua sendo um processo complexo que necessita de constante aperfeiçoamento para se tornar cada vez mais eficaz. Sua complexidade ocorre devido às diversas variáveis encontradas ao longo deste processo, como por exemplo, a microestrutura do material, a transferência de calor, morfologia, entre outras. Este artigo tem como objetivo solucionar a falha, denominada rechupe, ocorrida no objeto de estudo deste trabalho. Dentre as possíveis causas que originaram este problema encontra-se a estrutura química do material, sistema de alimentação do molde mal dimensionado ou temperatura inadequada. Desta forma, o trabalho foi dividido em cinco etapas: análise química e estrutural do material, alteração dos canais de ataque, elevação do massalote, mudança de ângulo entre o massalote e o sistema de alimentação, e por último, efetuou-se o acabamento das modificações realizadas. As alterações realizadas ao longo deste trabalho possibilitaram que o problema de rechupe fosse eliminado, garantindo a produção de novos lotes de peças sem o surgimento de novas falhas.

**Palavras chave:** Processo de Fundição. Molde de areia verde. Alterações no Massalote.

## **REDIMENSIONING THE CHARGING SYSTEM OF A FOUNDRY MODEL: CASE STUDY**

### **ABSTRACT**

As old as the foundry process may be, it remains a complex process that needs constant improvement to become more and more effective. Its complexity occurs due to the several variables found throughout this process, such as the microstructure of the material, heat transfer, morphology, among others. This article aims to solve the failure, called porosity, occurred in the study object of this work. Among the possible causes that gave rise to this problem ARE the chemical structure of the material, badly sized mold charging system or inadequate temperature. In this way, the work was divided in five stages: chemical and structural analysis of the material, alteration of the attack channel, elevation of the feeding system, change of angle between the massif and the charging system, and finally the finishing

of the mold. The changes made throughout this work allowed the porosity problem to be eliminated, guaranteeing the production of new batches of parts without the appearance of new failures.

**Keywords:** Foundry process. Green Sand Mold. Changes in the feeder.

## INTRODUÇÃO

O processo de fundição de metais teve seu início aproximadamente em 3000 a. C., onde fundiu-se, primeiramente o cobre, depois o bronze e mais recentemente o ferro devido à dificuldade em se obter altas temperaturas para a realização deste processo. De acordo com Braga (1992), a fundição possui como características a fusão do metal e o preenchimento em moldes, com a finalidade de produzir a peça demandada por meio de diferentes processos. Porém, apenas nas últimas décadas o processo de fundição passou a ser estudado com maior profundidade, devido ao avanço dos métodos científicos.

Trata-se de um processo complexo que depende de uma série de variáveis, as quais influenciam diretamente na definição das características microestruturais do material. Dentre essas variáveis, pode ser citado a forma como ocorre a transferência de calor, microestrutura do material, morfologia, estrutura dendrítica, entre outros. Desta forma, as relações entre os processos e microestrutura do material necessitam de conhecimento detalhado, para se obter as formas e geometrias mais próximas ao produto final (MARTORANO, 1998).

Rossitti (1993) menciona que apesar do processo de fundição ser bastante antigo, novas tecnologias continuam a surgir de acordo com o avanço tecnológico, tornando esse processo essencial para a indústria e a economia. Tal fato pode ser confirmado, segundo dados da ABIFA (2016), que informa que a indústria brasileira de fundição empregou cerca de 50.753 trabalhadores, sendo só na região sul 17.646 empregados. Faturou cerca de US\$ 886.756.500 com a exportação de 404.591 toneladas de ferro fundido, representando 19,2% da produção total no ano de 2016.

No estudo apresentado neste trabalho, utilizou-se como objeto de estudo um produto que teve suas amostras reprovadas. A escolha se deu em função da ocorrência de falha no material fundido, e devido à necessidade de um plano de ação para correção do defeito. Diversas são as possibilidades para o surgimento deste defeito, dentre elas chama-se a atenção para mau dimensionamento do massalote, temperatura ou composição química. Em função de relevância e determinadas características, o redimensionamento e alteração do sistema de alimentação seria a solução para o problema identificado?

## 2 DESENVOLVIMENTO E DEMONSTRAÇÃO DOS RESULTADOS

### 2.1 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 2.1.1 Generalidades do Ferro Fundido

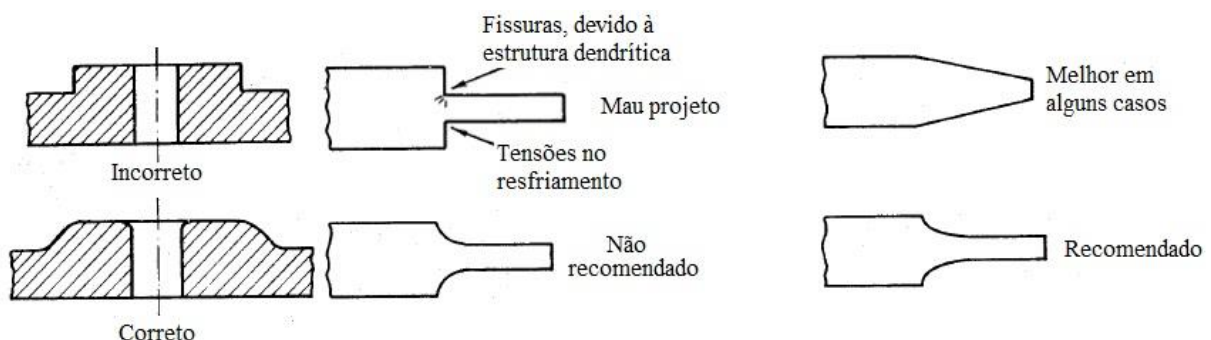
Conforme Chiaverini (1981), dentre as ligas de ferro carbono, os ferros fundidos constituem um grupo de grande importância para a indústria, devido às características próprias do material e, também, pelo fato de que mediante a introdução de elementos de liga, tratamentos térmicos adequados e pelo desenvolvimento do ferro fundido nodular, sua aplicação passou a ser amplamente utilizada na indústria.

Trata-se de uma liga de ferro-carbono-silício, onde o carbono está presente com valores situados entre 2,0% e 4,5%. Dependendo da quantidade de cada elemento e da maneira como o material é resfriado ou tratado termicamente, o ferro fundido é cinzento, branco, maleável ou nodular (SILVA; AVANZI, 2011).

#### 2.1.2 Projetos da peça

No projeto de uma peça a ser fundida, a contração do metal deve ser considerada, pois durante a solidificação o mesmo se contrai diminuindo seu volume no molde. Ao se solidificar, o metal passa por três tipos de contração: a contração líquida que corresponde a diminuição de temperatura até o início da solidificação, a contração de solidificação referente à variação de volume, durante a mudança do estado líquido para o sólido, e a contração sólida que corresponde a variação de volume que ocorre já no estado sólido. Essa variação pode variar de 1% a 1,5%, de acordo com o tipo de ferro fundido (CHIAVERINI, 1986). Outro fator que deve ser levado em conta, durante a elaboração do projeto de uma peça é a variação gradual de suas seções, evitando cantos vivos e mudanças bruscas, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1: Concordância de seções em peças fundidas.



Fonte: Adaptado de Chiaverini (1986).

A espessura mínima de parede deve ser analisada a fim de evitar pontos duros devido ao resfriamento precoce proporcionado por paredes finas, para garantir um enchimento por toda a cavidade do molde durante o processo de vazamento. Neste contexto, Silva (2005) explica que outros defeitos de fundição podem ser causados pelo traçado inadequado da peça, resultando na fixação inadequada do macho, enchimento irregular da cavidade com o metal derretido e dificuldade na saída dos gases durante o vazamento.

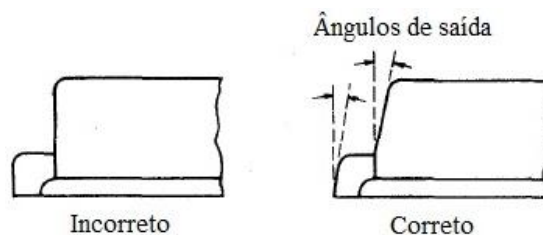
### 2.1.3 Modelo de Fundição

Torre (1978) comenta que o processo de obtenção de peças fundidas consiste em preencher com metal fundido, um molde que reproduz exatamente a forma das peças requeridas. O molde, por sua vez, é confeccionado através do processo de moldagem que utiliza um modelo com o formato da peça a ser fundida.

[...]Esse modelo servirá para a construção do molde e suas dimensões devem prever a contração do metal quando ele se solidificar, bem como a quantidade de sobremetal necessária para posterior usinagem. Ele normalmente é confeccionado em madeira, alumínio ou resina (OLIVEIRA, 2016, p. 16).

De acordo com Löwer (1944) e Soares (2000), na fabricação de itens fundidos é muito importante que as peças apresentem superfícies lisas e ângulos de saída adequados, conforme ilustrado na Figura 2.

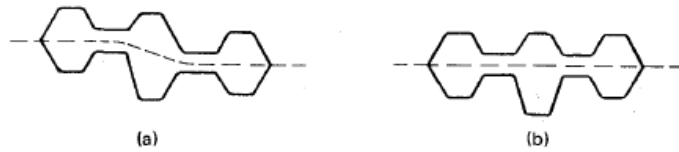
Figura 2: Conicidade recomendada no projeto do modelo e confecção do molde.



Fonte: Adaptado de Chiaverini (1986).

Este ângulo de saída pode variar de  $1^\circ$  a  $3^\circ$  e tem como finalidade facilitar a extração do modelo, evitando que o molde seja danificado e que a peça fique retida na areia. Com o objetivo de facilitar o processo de fundição, a linha divisória do modelo deve ser feita no mesmo nível, dividindo as cavidades superior e inferior do molde, conforme ilustrado no item “b” da Figura 3.

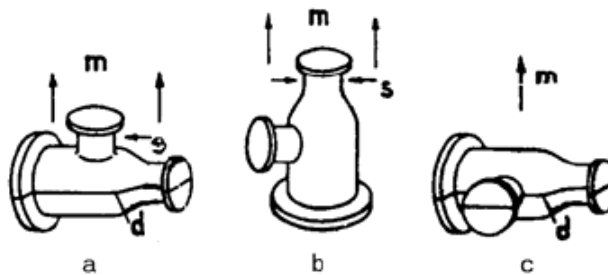
Figura 3: Linha divisória da cavidade superior e inferior do molde.



Fonte: Adaptado de Chiaverini (1986).

Para Soares (2000), a escolha do posicionamento da peça em relação ao plano de partição do molde depende do número de machos a fabricar, sua complexidade e da possibilidade de surgir rebarbas. No caso de o posicionamento não ser adequado à extração do modelo pode ser dificultada, conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4: Posicionamento do modelo no molde.



Fonte: Adaptado de Soares (2000).

Ao verificar a Figura 4, nota-se que a posição “c” é considerada ideal, pois ela coincide com a maior área projetada no plano de partição, já as posições “a” e “b” são consideradas inadequadas, pois sua extração será dificultada.

#### 2.1.4 Massalote

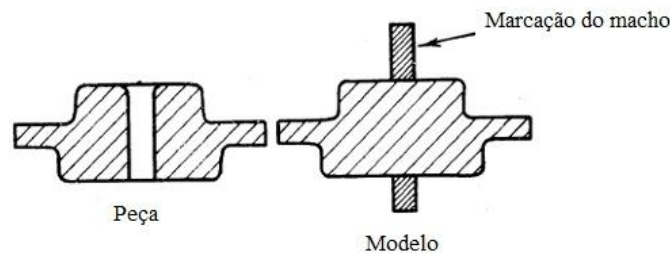
Agostinho *et al.* (2004) define massalote como um reservatório de metal líquido que constitui os sistemas de canais de alimentação do molde, responsável pelo fornecimento do metal derretido, permitindo que o metal escoe para fora do molde após o preenchimento. Ou seja, tem a função de alimentar a peça que está sendo fundida durante a fase de solidificação, compensando as perdas de volume, devido à contração do metal, com novas cargas de material.

O metal vazado na cavidade do molde deve começar solidificar a uma distância extrema dos massalotes. Dessa maneira, os vazios causados pela contração de resfriamento se movem progressivamente pela peça, até chegarem aos massalotes, os quais devem ser a última região a se solidificar (BARRIOS *et al.*, 2011).

#### 2.1.5 Macho

Torre (1978) ressalta que para se obter as partes vazias, do interior de uma peça fundida, utiliza-se no molde uma peça de areia que reproduza exatamente a forma do oco que deve ter a peça, conforme mostra a Figura 5. Este item de areia é denominado macho e para ajustá-lo ao molde, ele deve ser apoiado em suportes moldados pelo modelo e que se chamam marcas de macho.

Figura 5: Posicionamento do macho no molde.



Fonte: Adaptado de Chiaverini (1986).

Os machos são moldados por meio do preenchimento das caixas de macho com areia, cuja forma interior é exatamente igual à da peça pretendida. No caso de alguns itens complexos, pode-se utilizar os machos para moldar partes exteriores das peças.

### 2.1.6 Areias de moldagem

As areias utilizadas para a elaboração dos moldes e machos devem reunir uma série de características, a fim de que os moldes sejam construídos com facilidade e as peças obtidas, de acordo com eles, tenham a qualidade requerida, ou seja, não apresentem defeitos. Dentre essas características destacam-se: moldabilidade, refratariedade, desmoldabilidade, estabilidade térmica dimensional e permeabilidade dos gases (BARRIOS *et al.*, 2011).

As areias utilizadas na moldagem são compostas por quatro elementos principais: grãos de areia, aglomerantes, aditivos e água. A função das areias de moldagem é manter a forma da cavidade do molde até que o metal líquido se solidifique, permitindo a evacuação dos gases formados durante o vazamento do metal derretido (OLIVEIRA, 2013).

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.2.1 Modelo utilizado para a fundição do metal base

O modelo de fundição ilustrado na Figura 6, escolhido como objeto de estudo é manufaturado em alumínio, composto por duas figuras fixadas em uma placa-modelo do tipo simples, compatíveis com a máquina de moldagem automática Vick GCM 55.70.18, e seu sistema de alimentação conta com dois canais de ataque e um massalote para cada figura.



Figura 6: Modelo utilizado para a fundição do metal base.



Fonte: Os Autores.

As peças processadas com o modelo ilustrado na figura 6 apresentavam o defeito de rechupe, o qual pode ser visualizado na figura 7.

Figura 7: Rechupe.



Fonte: Os Autores.

Para Martins (2003), os rechupes são cavidades de ar de diferentes tamanhos, nas paredes mais grossas do material, e ocorrem devido às contrações que o metal sofre no estado líquido e de solidificação.

### 2.2.2 Modelo de fundição proposto

Para solucionar o defeito que as peças fundidas vinham apresentando, reutilizou-se o modelo atual, o qual passou por uma série de etapas em que foram realizadas diversas alterações, com a finalidade de eliminar as causas responsáveis pela não conformidade na fundição das peças.

A primeira etapa consistiu na análise química do material, a qual foi realizada por espectrometria de emissão óptica, através do equipamento Spectro Lab. O material base deverá atender as especificações da norma DIN 1693 (1977), a qual pode ser visualizada na Tabela 1.

Tabela 1: DIN 1693- Especificação do ferro fundido GGG40.

<b>Propriedades Mecânicas</b>			
<b>Estrutura</b>	<b>Resistência a tração (MPa)</b>	<b>Alongamento (%)</b>	<b>Limite de escoamento (MPa)</b>
Predominante ferrítica	400	15	250

Fonte: Norma DIN 1693 (1977).

Na segunda etapa realizou-se a alteração dos canais de ataque, os quais são responsáveis por garantir que as variações de temperaturas, sejam favoráveis e não causem a solidificação prematura do metal durante o preenchimento do molde.

Na terceira etapa, realizou-se o redimensionamento do massalote, onde foi acrescentado 20 mm em seu comprimento, considerando apenas a face superior da placa de montagem do modelo. A elevação do massalote na face superior da placa faz com que a quantidade de metal aumente, resultando em uma maior aplicação de força, que direciona o metal para a peça durante o resfriamento. É uma das formas de proporcionar a quantidade de metal necessária à peça durante o processo de solidificação.

Após estes procedimentos iniciou-se a quarta etapa, a qual trata-se da modificação dos ângulos que fazem a conexão do massalote com a peça. Na face superior da placa, onde é montada a parte maior do massalote, o canal de ataque precisa partir do ponto mais elevado possível. Este processo auxilia a descida do metal, com a finalidade de compensar a contração, bem como a manutenção de sua temperatura mais elevada, oferecendo um tempo maior de atuação na alimentação da peça.

Por fim, na quinta etapa, realizou-se o revestimento das alterações realizadas com massa plástica, assim como o lixamento e pintura, visando facilitar a extração do molde durante o processo de moldagem.

### 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na primeira etapa, o resultado da análise química e das propriedades do metal base, podem ser visualizados na Tabela 2.

Tabela 2: Composição química e propriedades mecânicas resultantes do metal base.

<b>Elementos Químicos (%)</b>									
<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>Cu</b>	<b>Al</b>	<b>Mg</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>
3,72	2,68	0,389	0,024	0,0062	0,09	0,012	0,034	0,043	0,001
<b>Propriedades Mecânicas</b>									
<b>Dureza (HB)</b>		<b>Resistência a tração (MPa)</b>				<b>Alongamento (%)</b>		<b>Limite de escoamento (MPa)</b>	
170		470				21		345	

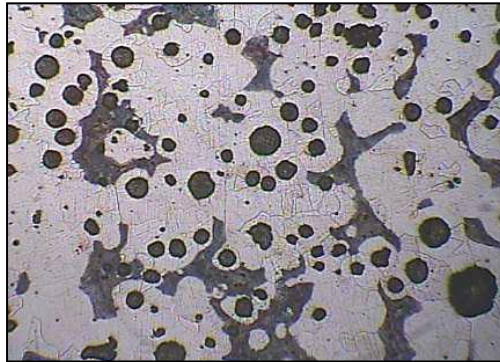


Fonte: Os Autores.

Comparando o resultado obtido na análise com as especificações da norma DIN 1693 (1977), constata-se que a composição química e as propriedades do metal base estão conforme a norma.

A análise metalográfica da Figura 7, demonstra que o metal base é composto por uma matriz predominante ferrítica, com grafita em formato de nódulos, atendendo as especificações da norma DIN 1693 (1977). Por meio da análise de propriedades mecânicas e metalográfica, comprova-se que o defeito ocorrido não possui relação com as especificações do material utilizado para a manufatura das peças.

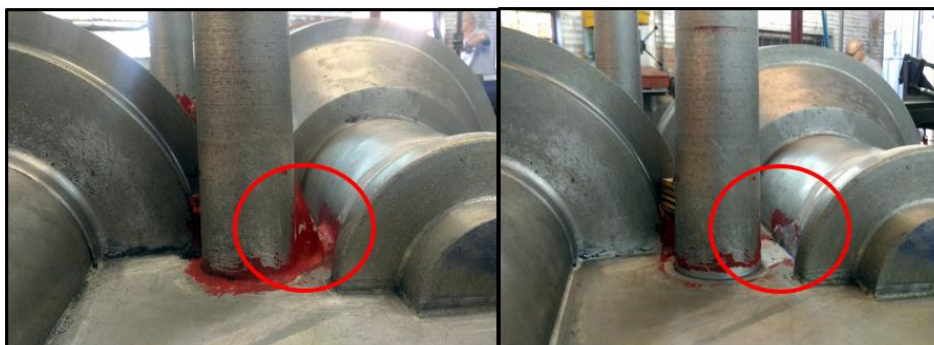
Figura 7: Análise metalográfica do metal base.



Fonte: Os Autores.

Conforme ilustrado na Figura 8, a segunda etapa resultou na alteração dos canais de ataque, na região onde o defeito de rechupe ocorria. Com essa alteração foi possível eliminar um ponto quente do sistema, o qual estava resfriando com muita lentidão.

Figura 8: Alteração nos canais de ataque do modelo.



Fonte: Os Autores.

As modificações realizadas na terceira etapa podem ser visualizadas na Figura 9, onde a elevação do massalote permitiu um melhor escoamento, do metal derretido durante o preenchimento da cavidade do molde. Devido à altura do massalote ser maior que o canal de ataque, aumentou-se a pressão exercida pelo metal derretido, acelerando o enchimento da cavidade e proporcionando um maior aproveitamento do metal líquido, pela peça durante o resfriamento.

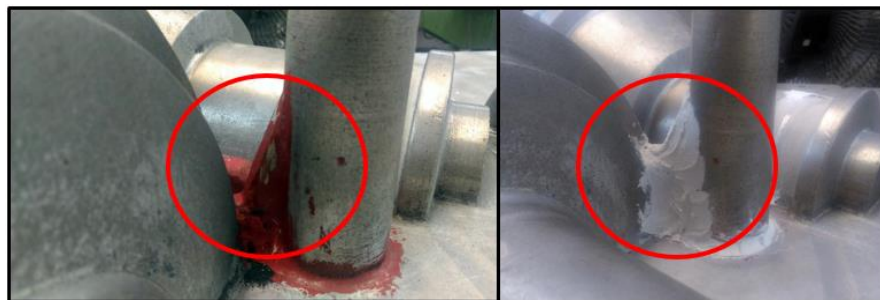
Figura 9: Fixação dos massalotes à placa.



Fonte: Os Autores.

Conforme alteração realizada na quarta etapa, a qual pode ser visualizada na Figura 10, a mudança do ângulo de ligação entre massalote e o restante do sistema de alimentação, proporcionou um aumento da pressão do metal derretido e melhor escoamento para o interior da cavidade da peça.

Figura 10: Alteração dos ângulos de conexão dos massalotes.



Fonte: Os Autores.

A quinta etapa teve como objetivo dar acabamento ao molde visando facilitar a sua extração durante o processo de fundição. Conforme pode ser visualizado na Figura 11, onde o molde encontra-se finalizado.

Figura 11: Modelo finalizado.



Fonte: Os Autores.

Com o modelo proposto concluído, realizou-se a manufatura de 80 unidades do produto, onde nenhuma das peças produzidas apresentou o defeito rechupe, o qual vinha ocorrendo com a utilização do antigo modelo.

### **CONCLUSÃO**

Através dos resultados apresentados neste trabalho, as seguintes conclusões podem ser retiradas:

O processo de fundição é complexo e depende de uma série de variáveis que podem influenciar, diretamente, nas características finais dos produtos.

Por meio das análises metalográfica e estrutural do material base utilizado, constatou-se que o problema estava no dimensionamento incorreto dos canais de alimentação do molde. Desta forma, as etapas foram devidamente planejadas a fim de solucionar o problema existente.

A elevação dos massalotes resultou no aumento de pressão com que o metal derretido era empurrado, em direção a cavidade do molde. A alteração dos canais de ataque e a modificação dos ângulos garantiram que o metal não se solidificasse de maneira prematura, e que a contração do metal fosse devidamente compensada. Com isso, houve uma melhora no escoamento do metal derretido em direção a cavidade do molde.

Em função das alterações realizadas, o modelo estudado ao longo deste trabalho foi colocado em prática novamente, onde foram manufaturadas 80 unidades do produto. Nesse novo lote de peças produzidas, não se constatou o defeito de rechupe em nenhuma unidade, ou seja, devido a estas alterações o produto poderá ser produzido dentro das especificações, sem o surgimento de novas falhas.

## REFERÊNCIAS

- ABIFA, Índices setoriais: **Informativo anual de desempenho** - 2016. São Paulo, 2016. Disponível em: <<http://www.abifa.org.br/wp-content/uploads/2017/01/12DESDEZEMBRO2016.pdf>>. Acesso em 27/02/2017.
- BARRIOS, Daniel Benítez; PIVETTA, Luís Antonio; YOSHIKAWA, Néelson Kodi. **Mecânica: métodos e processos industriais Vol. V**. São Paulo: Fundação Padre Anchieta, 2011.
- BRAGA, R. S. **Marketing de produtos industriais: um enfoque para o mercado de fundição**. São Paulo: Atlas, 1992.
- CHIAVERIN, V. **Aços e ferros fundidos**. 4. Ed. São Paulo: Associação brasileira de metais, 1981.
- CHIAVERINI, V. **Tecnologia Mecânica: Processos de Fabricação e Tratamento Vol. II**. 2. Ed. São Paulo: McGraw-Hill Ltda, 1986.
- LÖWER, R. BROBECK, FE.; BROBECK FR. **Trabajos de taller: Modelos para la fundición fabricación de placas para moldeo mecânico**. 2. Ed. Buenos Aires: Labor S. A. Argentina, 1945.
- MARTORANO, Marcelo de Aquino. **Efeitos de algumas variáveis de processo na microsegregação da liga Cu-8%Sn**. 1998. Tese doutorado - Universidade de São Paulo, 1998. Disponível em: <<http://www.pmt.usp.br/academic/martoran/Tese%20Doutorado%20Martorano.pdf>>. Acesso em 10/05/2017.
- OLIVEIRA, J. R; GALHARDI, A. C. **Simulação numérica e a fundição de metais do Brasil**. São Paulo: Graphium, 2016
- SILVA, A. S. C. et al. **Projeto voltado para moldagem de peças fundidas**. [artigo científico]. Disponível em: <[http://www.abcm.org.br/anais/cobef/2005/COF\\_071011483.pdf](http://www.abcm.org.br/anais/cobef/2005/COF_071011483.pdf)>. Acesso em: 28 fev. 2017.
- SILVA, Antonio Carlos da; AVANZI, Caio. **Mecânica: métodos e processos industriais Vol. II**. São Paulo: Fundação Padre Anchieta, 2011.
- SOARES, G. A. **Fundição: Processos e Metalurgia**. Rio de Janeiro: Coppe/UFRJ, 2000.
- TORRE, J. **Mecânica e instrumentação: Manual prático de fundição 3** São Paulo: Hermus, 1978.