

# MOLDE E FUNDIÇÃO



# Introdução

Nos processos de fundição participam uma série de transformações físico-químicas, como a **mudança de fase** (dos materiais que irão preencher o molde) e a **alternância de materiais** (do modelo para o molde e do molde para o produto).

Além destas transformações, ainda há as **passagens de forma**: da positiva para a negativa e, novamente, para a positiva. Estas transformações dão aos processos desta técnica um grau de complexidade diretamente proporcional à complexidade do modelo.

# Modelagem e copiagem



Peça para a industria




Escultura de Antony Gormley

**Modelagem** e **copiagem** são procedimentos complementares, empregados pela fundição na obtenção de esculturas e peças em metal.


O processo de fundição de metais foi descoberto em 6.000 A.C. Esse conhecimento foi passado adiante pela prática e aperfeiçoado pelas várias gerações através dos milênios.

Devido ao conhecimento de novos materiais e dos avanços tecnológicos, hoje, obtemos **desde peças para a industria, até esculturas** fundidas em diversos materiais.




Inicialmente, o metal mais empregado para fundição, era o ouro de aluvião. Logo após, surgiu o emprego do cobre e suas ligas.

Estas peças eram voltadas para uso doméstico, joias, armas e esculturas, utilizados em tempos, formas e características muito semelhantes.



A Fídias, escultor grego (490-430 a.C.), é atribuído o **primeiro relato escrito** conhecido da técnica de fundição por cera perdida, porém, somente o renascentista **Benvuto Cellini** (1500-1571) deixou, em sua autobiografia, relatos contendo os pormenores deste processo utilizado para a execução de esculturas em metal.



Os processos de fundição consistem em solidificar um material em um molde e, após o resfriamento, reproduzir um objeto sólido.

Para este fim, podem ser utilizados não somente metais em estado líquido, mas também, resina, cera, gesso, cimento, água, chocolate, por exemplo.

# A matéria fundida no espaço público



Monumento equestre em bronze de *Cosimo I* (1594), encomendado pelos *Médici*, contendo os brasões da família e cenas da vida do homenageado.

*Cosimo I*  
Jean Bologne (Gianbologna)  
Bronze (1594)



Antony Gormley

*Angel of the North, 1998*





*Cloud Gate*, 2004  
Anish Kapoor


Imenso volume em aço inox que, indiscriminadamente, tudo acolhe em sua superfície.

# Monumentos públicos




Os três monumentos anteriores são de onipotência escultórica com funções idênticas, porém com diferenças importantes quanto aos seus propósitos e resultados em relação ao espaço de acolhida.

No caso da obra de Bologne, há a presença e apresentação de um propósito particular e funcional.



Na peça monumental de Gormley, o público passeia entre seus pés num platô aberto e verde. Na peça enigmática de Kapoor, que lembra mercúrio líquido, localizada em um meio caótico urbano, vemos não só o público refletido na brilhante superfície espelhada, mas também todo o entorno. As duas obras públicas perturbam e discutem o próprio processo da fundição que, em Kapoor, fica ainda mais visível, pois, segundo ele, fundir “consiste em vazar metal no estado líquido no interior de um molde e após o resfriamento produzir um objeto sólido”.



As mesmas técnicas são empregadas tanto na fundição de uma peça para indústria, como para uma escultura. Ambas exigem conhecimento sobre os materiais envolvidos e as técnicas a serem utilizadas:

- representação/projeto: DESENHO;
- técnicas de construção: MODELO e MOLDE;
- materialização do projeto: FORMA, FUNÇÃO e ESTÉTICA.

# Construção de um modelo: modelagem

(+)

Forma  
em  
positivo

- A materialização da ideia, criada a partir da matéria talhada, modelada, usinada. O modelo precisa ser exato para não haver defeitos no molde.
- A MODELAGEM é o ato de construção de um modelo de forma manual ou com uso de ferramentas apropriadas, ou, ainda, pela criação de um modelo virtual através de programas de computador que geram sólidos de revolução.

# O modelo pode ser classificado em:

## **Perdido**

• modelos que são destruídos durante a remoção do interior do molde.

### **Materiais:**

- argila;
- massa plástica;
- cera;
- poliestireno expandido (isopor).

## **Permanente**

• materiais com resistência mecânica para suportar o processo de moldagem sem se deformar.

### **Materiais:**

- madeira;
- metal;
- gesso;
- cimento;
- resinas sintéticas.

# Construção de um molde: moldagem

(-)

Forma  
em  
negativo

- Confeccionado a partir do modelo;
- ferramenta que reproduz a forma do modelo;
- permite a réplica ou a formação do múltiplo;
- consta de uma forma vazada que será preenchida pelo líquido que, depois de solidificar-se, tornar-se-á uma réplica;
- vivemos hoje na era do molde.

## O Molde

- Empregado na antiguidade com interesse nas ferramentas, no valor artístico e no bélico. Temos sua expansão com a Revolução Industrial (XVIII e XIX), gerado pela praticidade, rapidez e forma economicamente viável para produzir objetos em série.

## Na contemporaneidade

- Novas tecnologias são criadas para a construção de moldes e obtenção de modelos, bem como os possíveis ajustes no projeto.
- Temos hoje programas específicos que simulam o preenchimento do molde virtualmente projetado. Fato que traz um maior controle sobre o processo, evitando falhas.



# Hoje vivemos a era do molde

Praticamente tudo em nossa volta, provém de um molde.



# Características e classificação do molde

## Características de um *molde*:

- construção adequada;
- resistência mecânica suficiente;
- estanqueidade;
- desmoldabilidade (não aderência da parede interna do molde com a cópia);
- condição de abertura para retirada da peça solidificada.

## Classificação pelo tipo de preenchimento:

- por gravidade ou centrifugação, para Kondik (1973);
- molde direto (uma única reprodução) ou Indireto (seriação), para Midgley (1986);
- rígidos ou flexíveis, para Rich (1988).

# Moldes para fundição de metais

Além das características citadas, os moldes para fundição de metais deverão também apresentar:

- resistência mecânica;
- resistência ao choque térmico;
- porosidade/permeabilidade;
- perfeito contato térmico entre metal e molde;
- condutividade térmica;
- colapsibilidade.

# Método Direto

- O modelo pode ser **direto em cera**, e sobre este, construímos um molde com material refratário que, depois de concluído, permitirá a remoção do modelo em cera de seu interior por fusão.
- Pode ser também realizada a **modelagem em argila**, e sobre esta, construímos um molde bipartido com uma abertura que permita a remoção completa da argila de seu interior. Em seguida, fechamos o molde e para o seu interior é vazado o material a ser solidificado. Após a solidificação, o molde é destruído para a remoção da peça.
- No método direto , perdemos tanto os modelos como os moldes.

# Método Indireto

- Construção de um **molde rígido permanente**, normalmente em gesso, constituído de *tasselos* (várias partes), de modo que o molde seja **desmontável**, possibilitando a retirada da cópia, podendo ser, assim, utilizado tantas vezes quanto **necessário** (ou até o **limite de resistência do molde**).
- Na contemporaneidade, tem-se utilizado com bastante frequência moldes em borracha de silicone - sua elasticidade possibilita a retirada dos modelos de seu interior.
- É chamado método indireto, porque não gera a peça final em metal diretamente, e sim uma peça intermediária em cera, que servirá para a construção de novo molde para a fundição em metal.

# Cuidados com o molde

- Os tasselos de moldes construídos para **modelos permanentes** devem possuir ângulos de saída, para que, desta forma, não formem “garras” sobre a forma.
- Os moldes para **modelos perdidos** devem envolver completamente o modelo. O material deve ser adequado ao processo e as condições hidráulicas eficientes.

# Sistema de alimentação de um molde

- Para que o molde seja perfeitamente preenchido pelo líquido, é importante a construção de um **sistema de canais** respeitando a equação de Bernoulli (equação que rege o comportamento de um fluido que se move ao longo de um tubo), a fim de **permitir a saída dos gases** que poderiam gerar defeitos na peça. O método da cera perdida propicia o uso de um sistema de canais mais elaborado.
- Para a fundição industrial, inúmeros cálculos e softwares são utilizados para calcular o sistema de alimentação de um molde. Já nas práticas de atelier, estes são determinados muito mais em função da geometria da peça, seus espaços negativos, de forma empírica, a partir do conhecimento prático.

# Propriedades dos materiais vazados no molde

É importante conhecer algumas propriedades dos materiais, afim de utilizá-las para a fundição. São elas:

- **fluidez** na fase líquida (capacidade de preencher o molde);
- **mudança de fase**, por variação de temperatura ou química;
- **relação com o material do molde**;
- **variação de volume** na mudança de fase;
- **estabilidade termodinâmica** na fase sólida.



# Temperatura de ligas metálicas para fundição

- Recomenda-se que as temperaturas de vazamento para ligas metálicas, no interior dos moldes, sejam, pelo menos, de 10 °C acima do ponto de mudança de fase.
- Essa temperatura mínima necessária pode variar, dependendo da liga metálica em questão ou da espessura do molde.

# Processo de fundição com molde de gesso

- Admite **fundição de precisão**, com detalhes ou com superfícies lisas;
- por sua baixa permeabilidade, esse método exige um bom sistema de canais;
- utiliza-se uma mistura de gesso, água e pós cerâmicos;
- antes de ser utilizado, deve ser aquecido a uma temperatura de 160 ° à 380 °C por até 72 horas, afim de remover totalmente a **água do molde**.

# Processo de fundição com molde metálico

- Permite grande tiragem com molde permanente;
- dispõe de acabamento superficial muito bom;
- apresenta-se limitado geometricamente, pois o molde deve possuir abertura para remoção da peça;
- possui custo elevado;
- indicado para grandes tiragens.

# Processo de microfusão ou cera perdida

- Consiste na aplicação de um revestimento cerâmico formando um molde, em forma de casca, sobre a matriz de cera. A cera é derretida e eliminada do interior do molde, deixando-o vazio, onde será introduzido o metal em estado líquido;
- possibilita total liberdade da forma;
- possui elevado grau de acabamento superficial;
- apresenta custo reduzido;
- utilizada muito em joalherias e em peças de precisão;
- apareceu por volta de 4.000 a.C., no antigo Egito.

# As ceras de fundição

- As ceras de fundição utilizadas pela indústria, normalmente, são à base de cera de abelha, de cera microcristalina, de parafina, de breu e de EVA. Entretanto, qualquer tipo de cera pode servir para este propósito.
- A cera de carnaúba, comercializada para fins odontológicos, sob o nome de “cera utilidades”, é bastante plástica, assim como a cera de abelha.
- Existem, ainda, uma diversidade de ceras disponíveis no mercado para a confecção de joias.
- As ceras devem ser **fluidas**, apresentar **ponto de fusão entre 60 ° e 80 °C**, **solidificar-se uniformemente**, apresentar **baixa variação volumétrica** e ser **rígidas quando em estado sólido**.

# Deceragem

Deceragem é a remoção da cera do interior do molde.

Pode ser feita com:

- forno elétrico;
- autoclave;
- forno micro-ondas;
- outros fornos (diesel, gás, lenha).

Obs.: o forno é aquecido até a temperatura indicada (em torno de 800 °C), e depois são introduzidos os moldes.

# As ligas metálicas

A escolha do metal a ser utilizado dá-se pelas características físicas e pelas propriedades do mesmo.

Pontos de Fusão de alguns metais:

- do cobre puro: 1083 °C;
- do ferro puro: 1539 °C;
- do alumínio puro: 660,3 °C.

# Créditos

---

- ❖ Compilação de material realizada por Alice Porto e Vânia Sommermeyer.



# Fontes de imagens

<http://www.assimumabrastemp.com.br/tag/anish-kappor/>

<http://exposicaoodeesculturas.blogspot.com/2011/06/cosimo-i-de-medicis-cedida-pelo-governo.html>

[http://explorechicago.org/city/en/things\\_see\\_do/attractions/dca\\_tourism/M\\_P\\_oriniga.html](http://explorechicago.org/city/en/things_see_do/attractions/dca_tourism/M_P_oriniga.html)

<http://febratec.com.br/fundicao.htm?gclid=ClfakfOWhqsCFQK87QodnSxH0A>

[http://obviousmag.org/archives/2010/02/esculturas\\_humanas\\_de\\_antony\\_gormley.html](http://obviousmag.org/archives/2010/02/esculturas_humanas_de_antony_gormley.html)

[http://www.plasmedix.com.br/produtos/produtos\\_venus.html](http://www.plasmedix.com.br/produtos/produtos_venus.html)

<http://www.calcadosgiovanna.com.br/?tag=sapatos-injetados>

# Referência



GIULIANO, José Antonio Schenini. **Os processos de fundição, como ferramenta na obtenção de esculturas em metal**. Porto Alegre: UFRGS, 2008. 1 p. Dissertação - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e de Materiais, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.