



UFC

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

CENTRO DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA METALÚRGICA E DE MATERIAIS

CURSO DE ENGENHARIA METALÚRGICA

RONALDO DE SOUZA LIMA

**DESENVOLVIMENTO DE PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS PADRÃO PARA A
CRIAÇÃO DE PEQUENAS FUNDIÇÕES**

FORTALEZA

2017

RONALDO DE SOUZA LIMA

DESENVOLVIMENTO DE PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS PADRÃO PARA A
CRIAÇÃO DE PEQUENAS FUNDIÇÕES

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Metalúrgica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Metalúrgica.

Orientador: Prof. Dr. Ing. Jeferson Leandro Klug.

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

L71d Lima, Ronaldo.

Desenvolvimento de Procedimentos Operacionais Padrão Para a Criação de pequenas Fundições / Ronaldo Lima. – 2017.

60 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Metalúrgica, Fortaleza, 2017. Orientação: Prof. Dr. Jeferson Leandro klug.

1. Fundação de Precisão. 2. Procedimento Operacional Padrão. 3. Cera Perdida. I. Título.

CDD 669

RONALDO DE SOUZA LIMA

DESENVOLVIMENTO DE PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS PADRÃO PARA
PEQUENAS FUNDIÇÕES

Monografia apresentada ao Curso de
Engenharia Metalúrgica da Universidade
Federal do Ceará, como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Metalúrgica

Aprovada em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ing. Jeferson Leandro Klug (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Roberto Cesar Cavalcante Vieira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Ma. Geisa Vieira Vasconcelos Magalhães
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Aos meus pais, Emercília e Kerginaldo.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e ao meu irmão por todo o apoio durante toda a minha vida.

Ao Prof. Dr. Ing. Jeferson Leandro Klug, pela excelente orientação.

À minha namorada Bruna Gabriela, pelo apoio durante a jornada de construção desse trabalho.

Ao Davi Sampaio, por ter sido tão prestativo, e ter me ajudado tanto durante os procedimentos.

À Raíra e ao William por terem me ajudado no começo dos trabalhos no laboratório.

A todos os meus colegas de curso, por terem estado sempre comigo durante esses anos de universidade.

RESUMO

Quanto melhor padronizados nossos processos melhor eles se tornam. Com processos bem definidos podemos acelerar o nosso desenvolvimento de forma sustentável. No presente trabalho de conclusão foi realizado um estudo sobre o processo de fundição em cera perdida do Laboratório de Fundição da Universidade Federal do Ceará (UFC). O processo que ocorria no laboratório não possuía documentação e nem padronização. O processo de fabricação de peças por cera perdida passou por uma série de experimentos até que se chegasse na fórmula ideal de fabricação dos moldes. Com os experimentos foi realizado também um estudo sobre os defeitos presentes na peça final, esse estudo foi crucial para o melhor entendimento do processo de fundição. A listagem das ações necessárias para o sucesso da fundição foi colocada no Procedimento Operacional Padrão (POP). Por conta da simplicidade do processo utilizado, acredita-se que o mesmo possa ser replicado em outros ambientes fora da universidade. Esse processo pode ser uma fonte de renda para inúmeras famílias no Brasil, sendo que um baixo investimento é necessário para o seu início.

Palavras-chave: Fundição de precisão. Procedimento Operacional Padrão. Cera perdida.

ABSTRACT

The better our processes standardized the better they become. With well defined processes we can accelerate our development in a sustainable way. In the present work, a study was made on the lost wax casting process of the Foundry Laboratory of the Federal University of Ceará (UFC). The process that occurred in the laboratory had neither documentation nor standardization. The process of manufacturing lost wax pieces went through a series of experiments until the ideal manufacturing formula was reached. With the experiments, a study was also performed on the defects present in the final pieces, this study was crucial for a better understanding of the casting process. The list of actions necessary for the success of the foundry was put in the Standard Operating Procedure (SOP). Because of the simplicity of the process used, it is believed that it can be replicated in other environments outside the university. This process can be a source of income for many families in Brazil, and a low investment is necessary for its beginning.

Keywords: Foundry. Standard Operating Procedure. Lost wax. Investment casting.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Galpão da fábrica da Rolls Royce em Pascagoula	18
Figura 2 – Dois tipos de moldes para fundição em areia verde	19
Figura 3 – Etapas da fundição de precisão	20
Figura 4 – Defeitos na fundição em molde de areia	22
Figura 5 – Réplica de um ornamento da fachada do Mercado dos Pinhões	29
Figura 6 – Peças de xadrez originais	32
Figura 7 – Molde de silicone e peça em cera	33
Figura 8 – Forno a cadinho removível utilizado na fundição	44
Figura 9 – Sugestão de layout de pequena fundição	45
Figura 10 – Cascas cerâmicas utilizadas	53
Figura 11 – Cascas cerâmicas com metal líquido vazado	53
Figura 12 – Peça final	54
Figura 13 – Peças finalizadas	54
Figura 14 – Rei, peça final	55
Figura 15 – Rainha, peça final	55
Figura 16 – Peão, peça final	55

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Produção global de fundidos	28
Gráfico 2 – Produção brasileira de fundidos (em mil toneladas)	28
Gráfico 3 – Número de empregados nas fundições brasileiras	28
Gráfico 4 – Curva granulométrica do arisco	34
Gráfico 5 – Resultados variação da quantidade de gesso	40
Gráfico 6 – Resultados variação da quantidade de água	41
Gráfico 7 – Frequência dos defeitos	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Estatísticas dos pequenos negócios.....	26
Tabela 2	– Distribuição das pessoas ocupadas segundo porte da empresa – Regiões Metropolitanas em 2015 (em %)	27
Tabela 3	– Composição (%w) da liga ZA-12	31
Tabela 4	– Composição granulométrica do arisco (%)	34
Tabela 5	– Porcentagem de gesso em massa total presente em cada amostra	36
Tabela 6	– Variação do volume de água em cada amostra	37
Tabela 7	– Critério de avaliação das peças de metal	38
Tabela 8	– Variação da quantidade de gesso no molde	39
Tabela 9	– Variação da quantidade de água no molde	41
Tabela 10	– Estimativa de investimento inicial de uma pequena fundição	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIFA	Associação Brasileira de Fundação
CAGED	Cadastro Geral de Empregados e Desempregados
EPP	Empresa de Pequeno Porte
FGV	Fundação Getúlio Vargas
FUNCEX	Fundação Centro de Estudos do Comércio Exterior
LaF	Laboratório de Fundação
ME	Microempresa
MEI	Microempreendedor Individual
MGE	Médias e Grandes Empresas
MPE	Micro e Pequenas Empresas
PIB	Produto Interno Bruto
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios
POP	Procedimento Operacional Padrão
RAIS	Relação Anual de Informações Sociais
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
UFC	Universidade Federal do Ceará

LISTA DE SÍMBOLOS

R\$	Real
%	Porcentagem
US\$	Dólar
%w	Porcentagem em peso
g	Gramas
°C	Graus Celsius
L	Litros

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Objetivos	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	Fundição	17
2.1.1	<i>Processos de fundição</i>	<i>19</i>
2.1.2	<i>Fundição de precisão</i>	<i>19</i>
2.1.3	<i>Defeitos na fundição</i>	<i>21</i>
2.1.4	<i>Forno de fundição</i>	<i>23</i>
2.2	Padronização de processos	23
2.2.1	<i>Procedimento operacional padrão (POP)</i>	<i>24</i>
2.3	Contexto social da fundição	25
2.3.1	<i>Dados econômicos dos pequenos negócios no Brasil</i>	<i>25</i>
2.3.2	<i>Dados econômicos fundição</i>	<i>27</i>
3	MATERIAIS E MÉTODOS	30
3.1	Etapas do estudo	30
3.2	Materiais utilizados	31
3.3	Modelo em cera	31
3.4	Fabricação dos moldes	33
3.4.1	<i>Processo de fabricação</i>	<i>35</i>
3.5	Qualidade da peça	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1	Variação da quantidade de gesso	39
4.2	Variação da quantidade de água	39
4.3	Avaliação dos defeitos	41
4.4	Listagem dos materiais necessários para uma pequena fundição	42
4.5	Estimativa do investimento inicial para uma pequena fundição	44
4.6	Processos necessários para uma pequena fundição	45
4.6.1	<i>Preparação do local</i>	<i>45</i>
4.6.2	<i>Procedimentos operacionais padrão</i>	<i>46</i>
4.7	Fotos do processo de fundição em cera perdida no laboratório de	

	fundição	53
5	CONCLUSÃO	56
6	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	57
	REFERÊNCIAS	58

1 INTRODUÇÃO

Mais do que nunca necessitamos de processos bem definidos para que nosso desenvolvimento tecnológico seja acelerado. A padronização de processos faz com que a produção do país ganhe muito mais rapidez e desenvolva muito melhor os seus produtos.

Quando a ideia da padronização é trazida para o âmbito tecnológico, vemos o quanto ele é essencial. A partir de um padrão, de uma estrutura bem definida, pode-se começar a inovar, a pensar em novas metodologias, a partir do padrão pode-se começar a pensar em novas ferramentas e maneiras de se pensar no processo.

Além de um processo mais estruturado, a padronização garante também uma maior economia de recursos, sejam eles tempo de produção ou melhor utilização dos recursos disponíveis.

E essa economia de recursos é essencial para o desenvolvimento do Brasil, já que a escassez é o paradigma que o país vai enfrentar nos próximos anos, principalmente no Ceará. Sim, pois, mais do que nunca, é necessário estimular o desenvolvimento econômico do estado fornecendo alternativas de produção para os pequenos empresários. Produções essas que utilizem recursos simples, fáceis de serem encontrados e, mais importante, produtos fáceis de serem fabricados.

Um desenvolvimento econômico sustentável e eficiente para o nosso estado, só pode ser alcançado quando a academia estiver mais presente e atuante nos problemas da sociedade. É necessária a união dos três pilares de desenvolvimento, sociedade, empreendedorismo e academia para que os problemas sejam sanados de forma definitiva e com maior rapidez.

Ao mesmo tempo em que foi criado um procedimento operacional padrão (POP) que transforma o processo de obtenção de peças no laboratório de fundição também foi criado um processo que pode ser replicado em qualquer parte do Ceará, usando poucos recursos.

O laboratório usado no estudo ainda apresenta muitos processos informais, ou seja, seus procedimentos ainda não estão documentados e padronizados. Portanto, por uma necessidade de desenvolvimento de um processo de produção melhor estruturado e uma ambição de exportação de conhecimento para fora do âmbito acadêmico, surge o seguinte questionamento:

“Como elaborar e implantar um procedimento operacional padrão em um pequeno laboratório de fundição, fácil de replicar e que possa ser utilizado por pequenos empreendedores com poucos recursos? ”

A motivação do trabalho surge por conta da possibilidade de criação de diversos pequenos negócios que podem se aproveitar desse estudo para a implantação, ou melhoria dos seus negócios.

Trabalhos futuros também podem vir a partir daqui. Com um estudo mais aprofundado sobre a implementação do procedimento operacional padrão. Ou ainda melhorias que podem ser implementadas a partir dele para uma melhoria na obtenção das peças fundidas.

O treinamento de novos membros do laboratório de fundição também se torna mais fácil com a criação de um procedimento padrão.

1.1 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho foi descrever e implementar um procedimento operacional padrão para a fundição de peças de metal no laboratório de fundição de uma forma barata, rápida e fácil de ser replicada.

Os objetivos específicos foram:

- Fundamentar conceitualmente procedimentos operacionais padrão;
- Fundamentar conceitualmente processos de fundição por cera perdida;
- Explanar sobre a pertinência do trabalho, principalmente como fonte de renda para pequenos empresários;
- Padronizar o processo de produção das peças fundidas no laboratório de fundição;
- Elaborar o POP para o laboratório;
- Determinar a porcentagem de gesso e de água ideal para o processo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta etapa apresenta-se o resultado das pesquisas em material pertinente ao tema do trabalho que foi, depois, usada como base para a aplicação prática dentro do laboratório.

2.1 Fundição

Para a melhor compreensão deste trabalho é necessário que certos conceitos básicos sobre fundição sejam explorados. Todo o trabalho se baseia na ideia de padronizar um processo de fundição e usar essa padronização para possíveis replicações futuras.

Segundo Groover (2014, p. 100), “Fundição é um processo no qual metal fundido flui pela força da gravidade, ou por ação de outra força, num molde em que solidifica com a forma da cavidade do molde. ”

De acordo com Groover (2014) os processos de fundição são bastante antigos, com registros da sua utilização remontando a mais de 5 mil anos. Seu uso consiste basicamente em fundir o metal, vertê-lo dentro de um molde e deixá-lo solidificar.

Por conta da sua grande versatilidade os processos de fundição acabaram criando uma enorme gama de aplicações. A sua utilização abriu caminho para a criação de vários métodos diferentes.

Para Beeley (2001) a fundição pode oferecer certas vantagens que nenhum outro processo consegue obter:

- a) Variedade de peso: O processo de fundição permite a fabricação de peças dos mais diversos pesos e tamanhos. Com esse processo pode-se fabricar peças de centenas de toneladas, como as hélices da Figura 1 até peças com precisão de décimos de milímetros;
- b) Formato e complexidade: A complexidade das peças que podem ser fabricadas através da fundição é enorme. Peças com contornos complexos e detalhes intrincados podem ser feitos com uma maior facilidade do que com usinagem, por exemplo.
- c) Composição de materiais: Virtualmente, qualquer liga metálica pode ser usada na fundição usando a técnica correta. Metais que são difíceis de usinar, podem ser obtidos através da fundição, por exemplo;
- d) Custo ferramental: A fundição serve tanto para a fabricação de peças únicas como para a fabricação de peças em larga escala. Os moldes usados na

produção são, em geral, feitos de materiais de baixo custo e muitas vezes eles podem ser reutilizados.

- e) Flexibilidade do processo: Essa característica é muito importante, ela diz respeito a facilidade com que uma pequena fundição pode ser criada. Por ser um processo muito flexível e que exige baixo investimento inicial a fundição pode ser utilizada nos mais diversos âmbitos sociais e econômicos.

Figura 1 - Galpão da fábrica da Rolls Royce em Pascagoula



Fonte: Blog Gulflive, junho de 2014

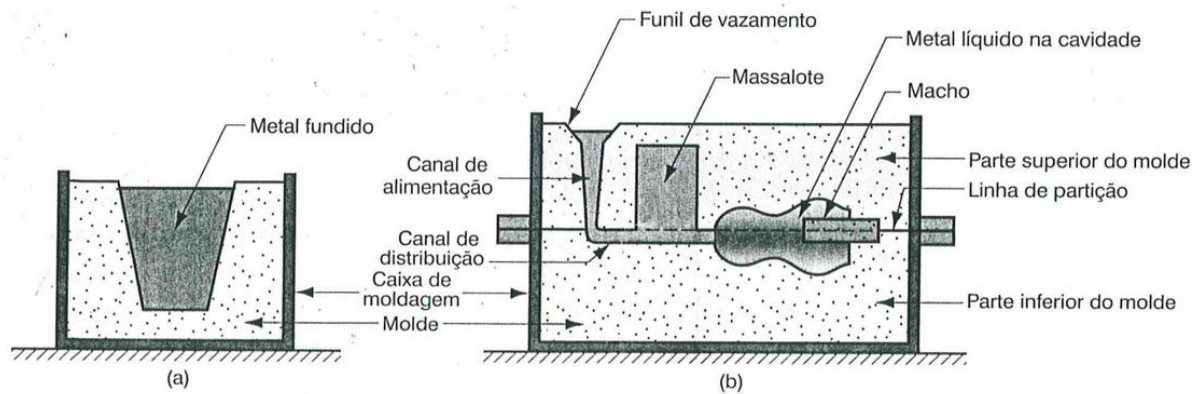
Nota-se a diversidade e a enorme quantidade de vantagens que o processo de fundição pode trazer. Um processo ideal para pequenos empreendedores com poucos recursos iniciais. Um processo simples, mas que precisa de uma boa estruturação e padronização para o seu bom funcionamento.

2.1.1 Processos de Fundição

De acordo com Groover (2014) existem dois tipos de moldes usados na fundição em areia verde, o molde aberto e o fechado. É no molde que fica a cavidade que determina a geometria da peça.

Podemos ver na Figura 2 as principais diferenças entre os dois tipos de moldes para areia verde, o *a* mostrando um exemplo de molde aberto e o *b* mostrando um exemplo de molde fechado e seus componentes.

Figura 2 - Dois tipos de moldes para fundição em areia verde



Fonte: Fundamentals of modern manufacturing, 4ª edição por Mikell P. Groover, 2010

O processo de fundição em areia verde é de longe o processo de fundição mais utilizado no mundo. Porém, ele produz muitos defeitos na peça, por isso a necessidade de desenvolvimento de outros processos. Processos de fundição que também são bastante utilizados, Groover (2010) cita em seu livro os principais processos utilizados:

- a) Moldagem em casca (shell-molding), onde o molde é uma casca fina (em torno de 9mm) confeccionada em areia cujos grãos são unidos por uma resina termofixa;
- b) Processo com poliestireno expandido, onde um molde de areia é usado ao redor de um modelo de poliestireno expandido que é vaporizado quando o metal fundido é vazado;
- c) Fundição de precisão (investment casting), um modelo em cera é revestido com um material refratário para fabricar o molde após a cera ser derretida antes do vazamento do metal fundido;
- d) Fundição em molde de gesso, é parecida com a fundição em areia, mas se utiliza um molde de gesso;
- e) Fundição sob pressão (die casting), fundição em molde permanente no qual o metal fundido é injetado na cavidade do molde sob alta pressão;
- f) Squeeze casting, o metal fundido é vazado dentro da metade inferior do molde preaquecida, a parte superior da matriz é então fechada enquanto ocorre a solidificação;

- g) Fundição centrífuga, o molde é girado a elevadas velocidades de modo que a força centrífuga distribui o metal fundido às regiões periféricas da cavidade da matriz.

2.1.2 Fundição de precisão com cera perdida

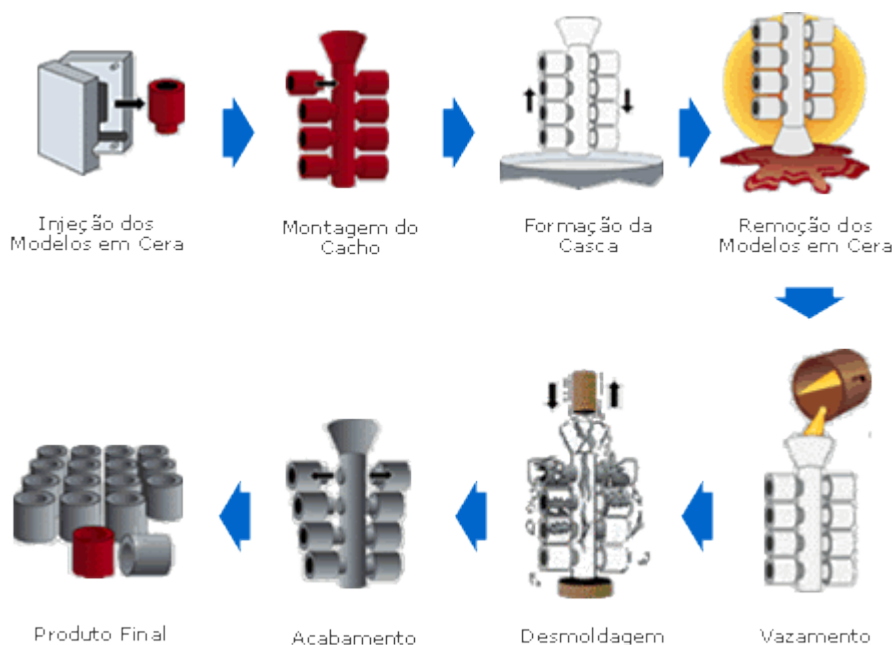
Para Beeley (2001, p. 563, tradução nossa):

O termo fundição de precisão é usado para descrever um grupo de processos em que os moldes são produzidos a partir de refratários líquidos. Estes, que contêm materiais de baixa granulometria, proporcionam aos moldes uma textura de superfície lisa que é subsequentemente transmitida para os moldes. [...] A fundição de precisão fornece altos padrões de precisão dimensional, acabamento de superfície e flexibilidade de projetos e [...] é aplicável para ligas de praticamente qualquer composição.

O processo pode utilizar tanto moldes permanentes como moldes perecíveis. Ele também é conhecido como fundição em cera perdida, já que um modelo em cera é perdido durante a fundição, de acordo com Groover (2014).

Na Figura 3 podemos ver as etapas do processo de fundição de precisão.

Figura 3 - Etapas da fundição de precisão



Fonte: RioInox Microfusão

O exemplo mostrado na Figura 3 fala da fabricação de várias peças através da criação de um cacho, ou árvore-modelo, como é mais comumente chamado. Primeiramente os modelos são produzidos, em seguida eles são fixados no canal de vazamento. Depois disso, a

árvore é recoberta por uma camada de material refratário até que se torne rígido o suficiente. Em seguida o molde é invertido e aquecido até que a cera seja fundida e escorra pela cavidade. O molde é pré-aquecido para que todas as impurezas sejam retiradas e depois o metal líquido é vazado. Depois de solidificado a árvore é retirada do molde e as peças são separadas.

De acordo com Groover (2014) a secagem da camada de refratário leva em torno de 8h para ficar completa. Esse processo tem a vantagem de oferecer uma ótima superfície de acabamento, com um ótimo controle dimensional e acabamento superficial. Além do fato de que a cera pode ser reutilizada várias vezes.

2.1.3 Defeitos na fundição

Para Beeley (2001, p.239) existem três tipos de origem para os defeitos em fundidos:

- a) Do design da fundição;
- b) Do método utilizado;
- c) Da aplicação da técnica.

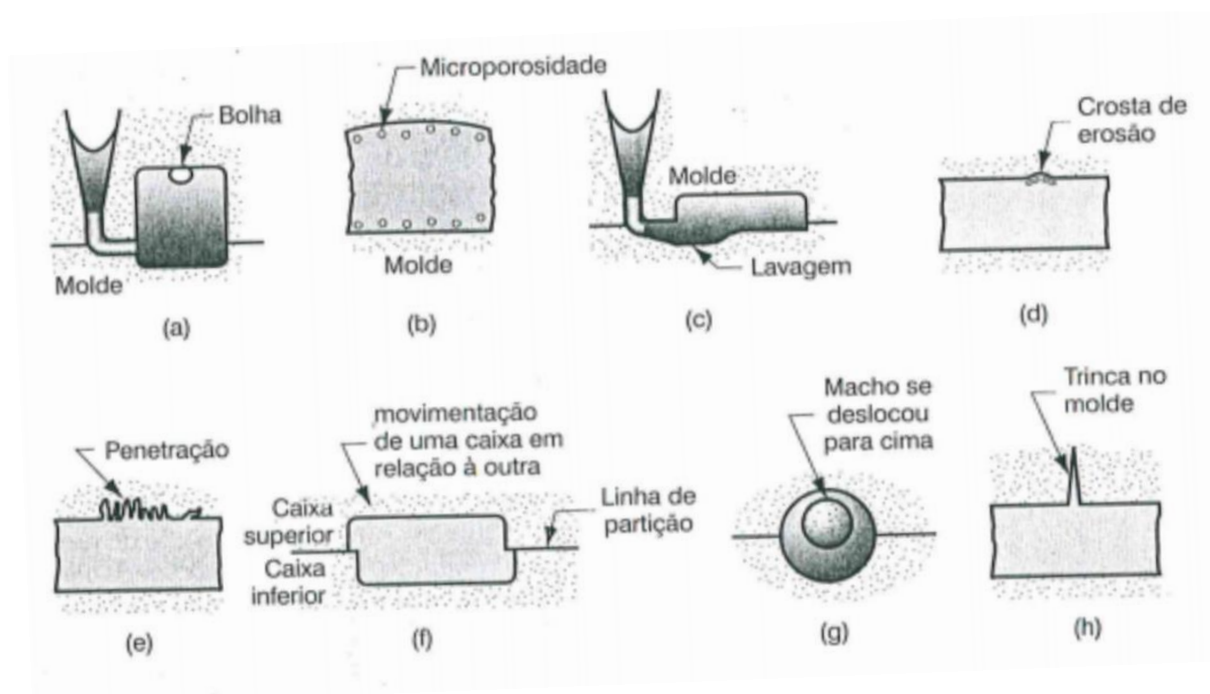
A partir dessas três origens, uma série de defeitos pode ser encontrada na peça fabricada. Na fundição em areia nós temos os defeitos mais comuns e estudados na pesquisa em fundição. Groover (2014) define os defeitos na fundição em areia da seguinte forma:

- a) Falha de preenchimento: Os fundidos solidificam antes da cavidade do molde estar totalmente preenchida. Ele pode ocorrer por conta da fluidez do material, temperatura baixa ou vazamento lento.
- b) Gotas frias: Respingo durante o vazamento causando a formação de grânulos sólidos do material na peça solidificada.
- c) Bolha: Uma cavidade em forma de balão é causada pela liberação de gases no molde durante o vazamento. Esse defeito ocorre por conta da baixa permeabilidade, pouca ventilação e/ou elevada umidade no molde.
- d) Microporosidade: Uma série de pequenas bolhas são formadas na superfície da peça, o que cria cavidades nela.
- e) Erosão por lavagem: Resultado da erosão da areia do molde durante o vazamento, o contorno na erosão fica reproduzido na superfície da peça.

- f) Crosta de erosão: Pequenas áreas rugosas na superfície do fundido que surgem por conta de incrustações de areia e metal. Pedacos do molde descamam e acabam ficando presos a superfície da peça.
- g) Penetração: O metal líquido acaba penetrando dentro do molde e quando solidifica ele ganha uma alta rugosidade.
- h) Deslocamento do molde: Quando a parte superior do molde se desloca em relação à inferior o que gera uma linha de partição na peça.
- i) Deslocamento do macho: Similar ao deslocamento do molde, mas quem se desloca dessa vez é o macho.
- j) Trinca do molde: Quando o molde não possui resistência mecânica o suficiente ele acaba trincando e após a solidificação ele cria um apêndice na peça.

Na Figura 4 podemos ver os diferentes tipos de defeitos que são criados durante uma fundição em molde de areia. Os defeitos têm as mais diversas causas e possuem as mais diferentes formas de solucioná-las. Desde criação de um canal de vazamento até mudança de material usado no molde, as alternativas para acabar com os defeitos podem ser as mais variadas.

Figura 4 - Defeitos recorrentes na fundição em molde de areia



Fonte: Fundamentals of modern manufacturing, 4ª edição, Mikell P. Groover, 2010

2.1.4 Forno de fundição

O forno utilizado no processo de fundição foi fabricado em um trabalho realizado anteriormente no Laboratório de Fundição, ele foi idealizado nos princípios do forno de fundição a cadinho, de acordo com Leão (2017).

Segundo Leão (2017) o forno foi preparado usando um latão de aço de 20L e utilizou uma mistura de areia grossa e gesso para criar uma parede refratária para o latão. A proporção de materiais usada foi:

- a) 8L de areia grossa;
- b) 4L de gesso;
- c) 700 mL de água.

Leão (2017) afirma:

Sendo a areia, o gesso e a água misturados manualmente, até atingir a consistência adequada para se confeccionar o orifício central para o cadinho e a tampa, sendo então deixado por alguns dias em repouso para a cura do refratário. Com auxílio de uma furadeira industrial com um serra-copo acoplado ao mandril, foi realizado um furo na lateral, para a introdução de um tubo metálico para simular a ventaneira, onde o ar foi forçado com auxílio de um soprador até a região da câmara de combustão onde estava o carvão (combustível), para aumentar sua eficiência na queima.

Esse forno, apesar de bastante simples, consegue suportar as altas temperaturas necessárias para o processo de fundição, ele vai funcionar como o forno a cadinho removível. Os materiais necessários foram somente o latão de aço, o cano, um secador e os materiais para a fabricação da parede refratária. Todos esses materiais podem ser facilmente comprados em um depósito de material de construção.

2.2 Padronização de processos

De acordo com Falconi (2014, p.28) um padrão pode ser definido como:

Documento condensado estabelecido para um objeto, desempenho, capacidade, ordenamento, estado, movimento, sequência, método, procedimento, responsabilidade, dever, autoridade, maneira de pensar, conceito, etc., com o objetivo de unificar e simplificar de tal maneira que, de forma honesta, seja conveniente e lucrativo para pessoas envolvidas.

A partir da definição de padrão podemos definir a padronização como a atividade sistemática de definir e utilizar padrões. A padronização de processos se torna, então, a base

do gerenciamento da rotina. Processos bem estruturados, bem planejados e bem estudados tornam-se parte de uma rotina de sucesso de uma organização. Padrão esse que deve ser alcançado por qualquer instituição de pesquisa e também qualquer pequeno negócio.

2.2.1 Procedimento operacional padrão (POP)

Martins (2013) afirma que “O Procedimento Operacional Padrão (POP) é um documento organizacional que traduz o planejamento do trabalho a ser executado. É uma descrição detalhada de todas as medidas necessárias para a realização de uma tarefa. ”

O POP é preparado para as pessoas que estão diretamente ligadas à tarefa que têm como objetivo atingir os requisitos desejados. Ele é um documento que será sempre ponto final do fluxo das informações técnicas gerenciais, afirma Falconi (2014).

Segundo Scartezini (2009, p. 37):

Tem como objetivo padronizar e minimizar a ocorrência de desvios na execução de tarefas fundamentais, para o funcionamento correto do processo. Ou seja, um POP coerente garante que a qualquer momento as ações tomadas sejam as mesmas, independentemente de dia, de operador, ou de qualquer outro fator. Ou seja, aumenta-se a previsibilidade de seus resultados, minimizando as variações causadas por imperícia e adaptações aleatórias.

Falconi (2017) afirma que o POP deve conter toda as informações necessárias ao bom desempenho da tarefa. As etapas do processo devem ser reduzidas e todas as informações contidas nele devem ser relevantes para o sucesso do processo.

Para Sousa (2011) algumas etapas devem ser seguidas para a criação de um bom POP:

- a) Pesquisar e reunir material sobre o assunto;
- b) Transcrever tudo que é feito em um papel e depois enumere o que foi escrito em ordem crescente;
- c) Dar um nome ao procedimento – assim ele poderá ser associado a um processo;
- d) Material necessário – nesse campo citar todos os materiais imprescindíveis para a execução do procedimento;
- e) Descrever as atividades críticas – dentre as tarefas descritas, no procedimento, destacar as que poderão gerar prejuízo aos resultados esperados pelo processo, caso não sejam observadas;

- f) Descrever a sequência das ações – descrever todas as tarefas necessárias para que o procedimento seja realizado como um todo, em ordem sequencial de ações, orientando o operador;
- g) Resultados esperados – descrever o que se espera com a execução do referido procedimento;
- h) Ações corretivas – estão relacionadas à previsão de possíveis erros a serem cometidos na execução do procedimento, ações de correção devem ser previstas pelo instrumento de padronização;
- i) Possibilidades de erro – conforme estatísticas e levantamentos e com base na experiência dos profissionais que já executaram tarefas semelhantes, procure relacionar as ações ou situações comuns de erros na execução do procedimento descrito;
- j) Os esclarecimentos – algumas ações descritas no procedimento, como uso de equipamentos, ou outros que serão condutores do agente de segurança pública ao sucesso na execução do padrão, aqui você pode apresentar textos, filmes, desenhos, fotografias, esquemas ou outro recurso adequado, para melhorar o entendimento do procedimento e que a ele serão anexados, após aprovados;

2.3 Contexto social da fundição

É importante também compreender o papel dos pequenos negócios na economia brasileira. Muitos desses pequenos negócios carecem de um desenvolvimento científico mais apurado. As universidades brasileiras têm o dever de oferecer o capital intelectual a esses empresários, pois são eles que movem a economia do país.

2.3.1 Dados econômicos dos pequenos negócios no Brasil

De acordo com o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE) (2015) as Micro e Pequenas Empresas (MPE) representam 99% dos negócios no Brasil. Elas são responsáveis por 25% do PIB e são as criadoras de 52% dos empregos no país. Destas MPEs, 15% delas se encontram no setor da indústria, um setor que ainda tem muito a evoluir no nosso país.

Quando analisamos a distribuição geográfica desses pequenos negócios vê-se que o Nordeste é a segunda região com a maior quantidade de MPEs, perdendo apenas para a região Sudeste. O Nordeste é responsável por 19% dos MPEs.

Os impactos das Empresas de Pequeno Porte (EPPs) na economia são enormes, como podemos observar na Tabela 1. Elas são as principais responsáveis por nossas exportações, bem como são as principais responsáveis por nossa geração de empregos.

Tabela 1 - Estatísticas dos pequenos negócios

PARTICIPAÇÃO DOS PEQUENOS NEGÓCIOS NO(A):	ANO	PARTICIPAÇÃO (%)	FONTE
PIB brasileiro	2011	27,0	SEBRAE/FGV
Número de empresas exportadoras	2015	61	FUNCEX
Valor das exportações	2015	1	FUNCEX
Massa de salários das empresas	2015	44,1	RAIS
Total de empregos com carteira	2015	54	RAIS
Total de empresas privadas	2015	98,5	SEBRAE
OUTROS DADOS SOBRE OS PEQUENOS NEGÓCIOS	ANO	TOTAL	FONTE
Quantidade de produtores rurais	2015	4,7 MILHÕES	PNAD CONTÍNUA
Potenciais empresários com negócio	2015	11,6 MILHÕES	PNAD CONTÍNUA
Empregados com carteira assinada	2015	17,1 MILHÕES	RAIS
Remuneração média real nas MPE	2015	R\$ 1.680,05	RAIS
Massa de salário real dos empregados nas MPE	2015	R\$ 28,4 BILHÕES	RAIS
Número de empresas exportadoras	2015	12,1 MIL	FUNCEX
Valor total das exportações (US\$ bi FOB)	2015	US\$ 2 BILHÕES	FUNCEX
Valor médio exportado (US\$ mil FOB)	2015	US\$ 162,4 MIL	FUNCEX

Fonte: SEBRAE, Boletim Estudos & Pesquisas (2017)

De acordo com o SEBRAE (2017), com todas as dificuldades econômicas que enfrentamos nos últimos anos era de se esperar uma economia muito mais enfraquecida em um âmbito nacional. O que impede todo o nosso sistema de colapsar é o trabalho desses MPEs que conseguem dar um mínimo de vazão a toda essa carga trabalhadora ociosa.

E quando analisamos o Ceará, mais especificamente Fortaleza, um dado deve ser destacado, de acordo com o SEBRAE (2017) 68% dos empregos gerados na região metropolitana de Fortaleza tem sua origem em uma MPE. Na Tabela 2 podemos ver a comparação com outras capitais brasileiras.

Uma transformação na forma de produção desses pequenos negócios tem a possibilidade de criar impactos profundos na economia do nosso país. Uma pequena melhoria do processo, ou ainda oferecer um pouco de embasamento científico para esses pequenos negócios pode ser algo transformador para o nosso país e nosso estado.

Tabela 2 - Distribuição das pessoas ocupadas segundo porte da empresa –
Regiões Metropolitanas 2015 (em %)

	MPE	MGE	Total
Fortaleza	68%	32%	100%
Porto Alegre	67%	33%	100%
Salvador	62%	38%	100%
São Paulo	58%	42%	100%
Distrito Federal	72%	28%	100%
Total Metropolitano	65%	35%	100%

Fonte: DIEESE (2017), “Anuário do trabalho na Micro e Pequena Empresa (2015)”

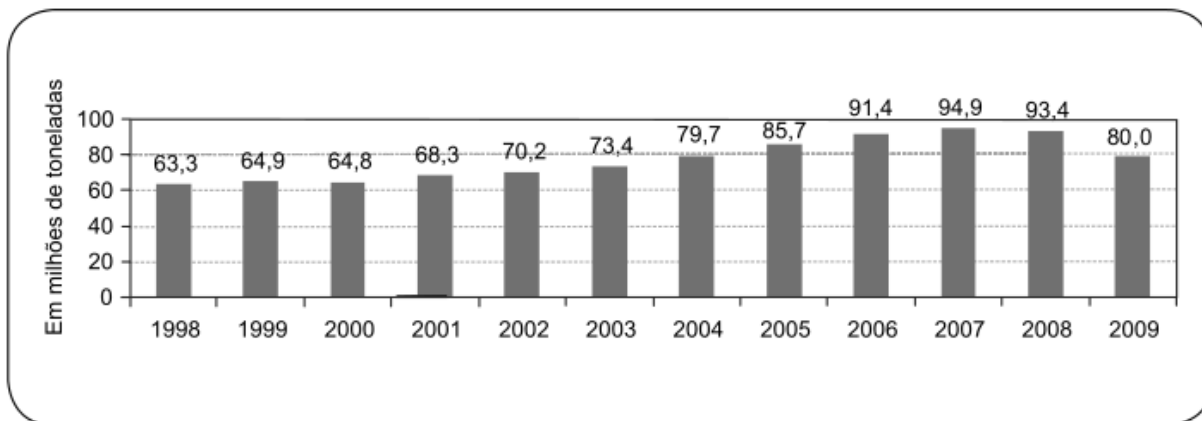
2.3.2 Dados econômicos fundição

Por ser uma indústria de base, a fundição se torna extremamente necessária para o desenvolvimento da economia do país. A evolução da sua produção em uma determinada área mostra como a demanda pelo material fundido evolui, e essa demanda é um forte indicativo de desenvolvimento econômico e social.

Pode-se observar no Gráfico 1 como a indústria de fundição evoluiu entre 1998 e 2009. Casotti, Filho e Castro (2011) afirmam que a indústria vinha em uma evolução constante de 4,5% até a crise de 2008 que culminou em uma certa desaceleração.

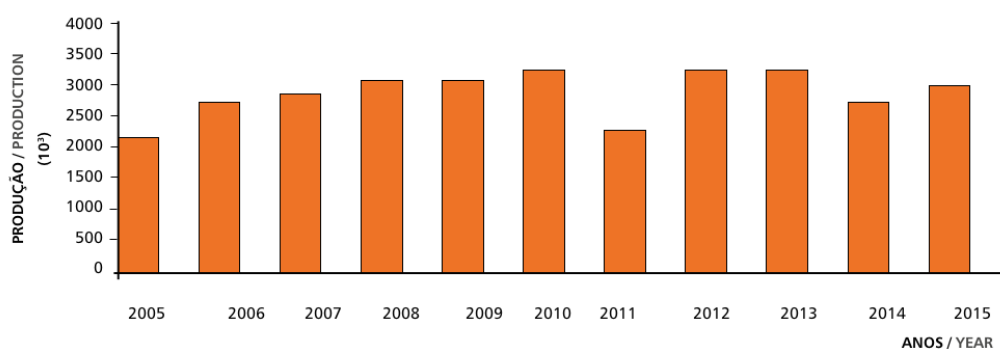
A produção brasileira também sofreu uma leve queda com a crise de 2009 e mais uma em 2011, mas conseguiu recuperar-se no ano seguinte, de acordo com a Associação Brasileira de Fundição (ABIFA) (2016). Em 2012 o Brasil conseguiu se recuperar e retornar a produção média de 3 milhões de toneladas. Podemos ver no Gráfico 2 a evolução da produção brasileira de 2005 a 2015.

Gráfico 1 - Produção global de fundidos



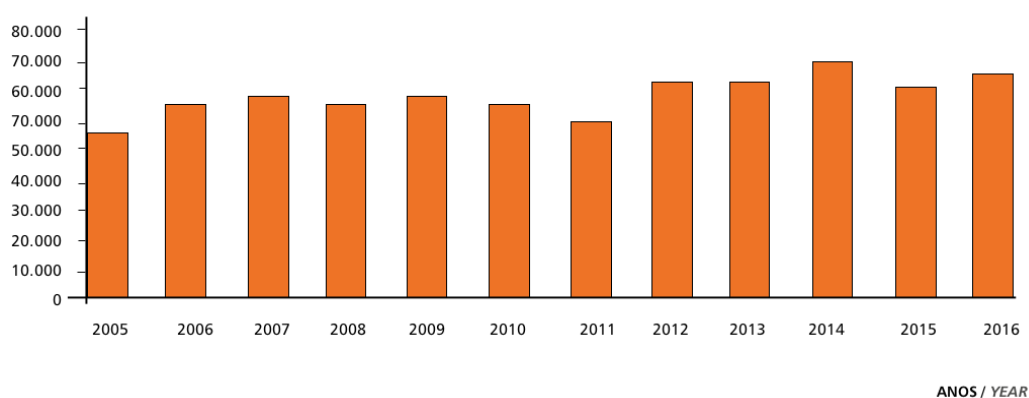
Fonte: Modern Casting

Gráfico 2 - Produção brasileira de fundidos (em mil toneladas)



Fonte: ABIFA (2016)

Gráfico 3 - Número de empregados nas fundições brasileiras



Fonte: ABIFA (2016)

Além da forte contribuição para a economia com a produção de fundidos diretamente, a indústria de fundição gera em média 60 mil empregos ao ano, de acordo com a ABIFA (2016). Podemos ver no Gráfico 3 - como essa geração de empregos evoluiu entre 2005 e 2016.

2.3.3 Aplicações do processo de fundição por cera perdida

As mais diversas aplicações são possíveis pelo processo de fundição em cera perdida. Moreira *et al.* (2016) mostraram como é possível utilizar esse processo para a revitalização de ornamentos históricos na cidade de Fortaleza. O processo foi utilizado por eles para a recriação de peças que fazem parte da fachada do Mercado dos Pinhões em Fortaleza.

O Mercado dos Pinhões, aberto em 1897 é um dos exemplos da ampla aplicação dos estudos aqui presente. Podendo gerar impacto não somente econômicos, mas também culturais na vida dos habitantes de Fortaleza. Na Figura 5 temos o exemplo de uma parte da fachada do prédio que foi reconstituída usando o processo feito em laboratório. A peça foi feita usando uma liga com alumínio reciclado, vindo de latinhas recicladas.

Figura 5 – Réplica de um ornamento da fachada do Mercado dos Pinhões



Fonte: Moreira *et al.* (2016)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo teve como base uma conceituação teórica sobre o tema, as etapas para o desenvolvimento e a metodologia utilizada. Este trabalho final tem um caráter de pesquisa e um caráter descritivo.

Este trabalho é baseado em conhecimentos acadêmicos e é associada com a resolução de um problema coletivo, no caso, a padronização de um processo de uma pequena fundição. O trabalho foi realizado no Laboratório de Fundição (LaF) da Universidade Federal do Ceará (UFC) e visa criar uma metodologia de trabalho, estruturada, para o laboratório, que possa ser replicada em outros ambientes.

3.1 Etapas do estudo

Para a realização do presente trabalho as seguintes etapas foram seguidas:

- a) Definiu-se que a pesquisa seria realizada dentro do LaF;
- b) Identificou-se que o laboratório não possuía nenhum procedimento padrão documentado;
- c) Identificou-se que os processos realizados dentro do LaF poderiam ser replicados em outros ambientes;
- d) Realizou-se uma pesquisa na literatura para fundamentar a pertinência do trabalho a ser realizado;
- e) Uma série de experimentos foi realizada com o intuito de se conseguir dados para chegarmos no melhor processo possível;
- f) Os dados recolhidos foram ordenados em uma sequência ideal com a descrição das atividades a serem realizadas, bem como a listagem das ações corretivas, e com o desenvolvimento dos POPs;

As fases descritas acima foram as necessárias para a elaboração do seguinte trabalho. É importante salientar que esses procedimentos padrão ainda não foram utilizados por terem sido desenvolvidos recentemente. Ainda é necessária a aplicação dos mesmos em um ambiente fora da universidade.

3.2 Materiais utilizados

Nos experimentos de fundição foi utilizado uma liga de zinco ideal para a fundição, a ZA-12. As ligas ZAMAC representam um grupo de ligas metálicas que têm na sua composição Z-Zinco, A-Alumínio, MA-Magnésio, C-Cobre. Elas foram desenvolvidas na década de 1920 com o objetivo de encontrar-se um liga com a combinação ideal de propriedades físicas, mecânicas e facilidade de processamento, de acordo com a Eastern Alloys. A liga possui um ponto de fusão entre 377 e 432°C.

A Eastern Alloys, empresa especialista no assunto, afirma que a liga ZA-12 é a liga de zinco mais versátil existente, combinando alta performance e fácil fundição usando tanto gravidade quanto pressão. Ela é a melhor liga existente para fundição em areia. A composição da liga ZA-12 encontra-se na Tabela 3.

Tabela 3 - Composição (%w) da liga ZA-12

	ZA-8		ZA-12		ZA-27	
	Ingot	Casting	Ingot	Casting	Ingot	Casting
Al	8.2-8.8	8.0-8.8	10.8-11.5	10.5-11.5	25.5-28.0	25.0-28.0
Mg	.02-.03	.01-.03	.02-.03	.01-.03	.012-.020	.01-.02
Cu	0.9-1.3	.8-1.3	0.5-1.2	0.5-1.2	2.0-2.5	2.0-2.5
Fe (max)	.035	.075	.05	.075	.07	.075
Pb (max)	.005	.006	.005	.006	.005	.006
Cd (max)	.005	.006	.005	.006	.005	.006
Sn (max)	.002	.003	.002	.003	.002	.003
Ni (other)x10	-	-	-	-	-	-
Zn	Bal.	Bal.	Bal.	Bal.	Bal.	Bal.

Fonte: Eastern Alloys Inc.

3.3 Modelo em cera

Para a realização dos experimentos foi necessário a fabricação de várias peças em cera que serviriam para criar a cavidade no molde. Essas peças de cera foram criadas a partir

algumas peças de madeira de um jogo de xadrez. Na Figura 6 podemos ver o formato das peças originais.

Figura 6 - Peças de xadrez originais



Fonte: Próprio autor (2017)

As peças de madeira foram mergulhadas em silicone líquido em um copo de plástico descartável e em seguida foi adicionado o ativador. O ativador tem a função de catalisar a reação de enrijecimento do silicone. Depois de alguns minutos, com a borracha de silicone pronta retira-se a peça original e fica-se a borracha e a sua cavidade.

A cera utilizada na produção dos modelos foi a cera de carnaúba, de acordo com o Vieira (2008) o Ceará é o líder nacional na produção da cera de carnaúba, com 81,8% da sua produção vinda daqui. Na Figura 7 temos a imagem do molde de silicone e a peça pronta feita de cera.

A cera era aquecida em um forno, sua temperatura de fusão em torno de 100°C. Ela era então vazada dentro do molde já pronto de borracha de silicone e em seguida retirava-se o modelo de cera já pronto.

Figura 7 - Molde de silicone e peça em cera



Fonte: Próprio autor (2017)

3.4 Fabricação dos moldes

Para a fabricação dos moldes foi utilizada uma mistura de arisco, gesso, manta acrílica e água. O arisco e o gesso podem ser comprados em qualquer depósito de materiais de construção na cidade de Fortaleza. Primeiramente precisávamos caracterizar o arisco utilizado. Deveríamos conhecer o que compunha esse arisco e qual a sua granulometria, pois, dependendo dos resultados de granulometria, a permeabilidade e resistência mecânica do molde poderia ser alterada.

Para a caracterização da areia realizou-se um ensaio de acordo com a NBR 7181/84 para análise granulométrica de solos. Uma amostra de arisco, depois de secada a 100°C durante 8 horas é posta em uma série de peneiras que vão desde 50 até 0,075 mm. É pesada então a quantidade de material que fica presa em cada peneira e a partir disso gera-se uma tabela com as porcentagens de cada tipo de material presente no arisco e um gráfico com a distribuição granulométrica. Os resultados estão na Tabela 4 e no Gráfico 4.

O gesso utilizado foi um gesso comercial, ele é composto principalmente de gipsita. A gipsita é um mineral encontrado na natureza formado de sulfato de cálcio dihidratado $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, quando aquecida a uma temperatura entre 130 e 160°C perde 1,5

mol de água e se torna a gipsita hemihidratada $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ que seria o gesso comercial. Quando adicionado de água o gesso vira gipsita mais uma vez e libera calor na reação como podemos ver na Equação 1. O processo de endurecimento leva em torno de 15 e 20 minutos (notas de aula disciplina de Fundição)¹.

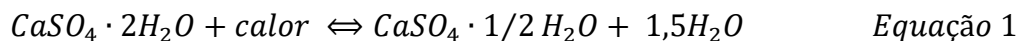
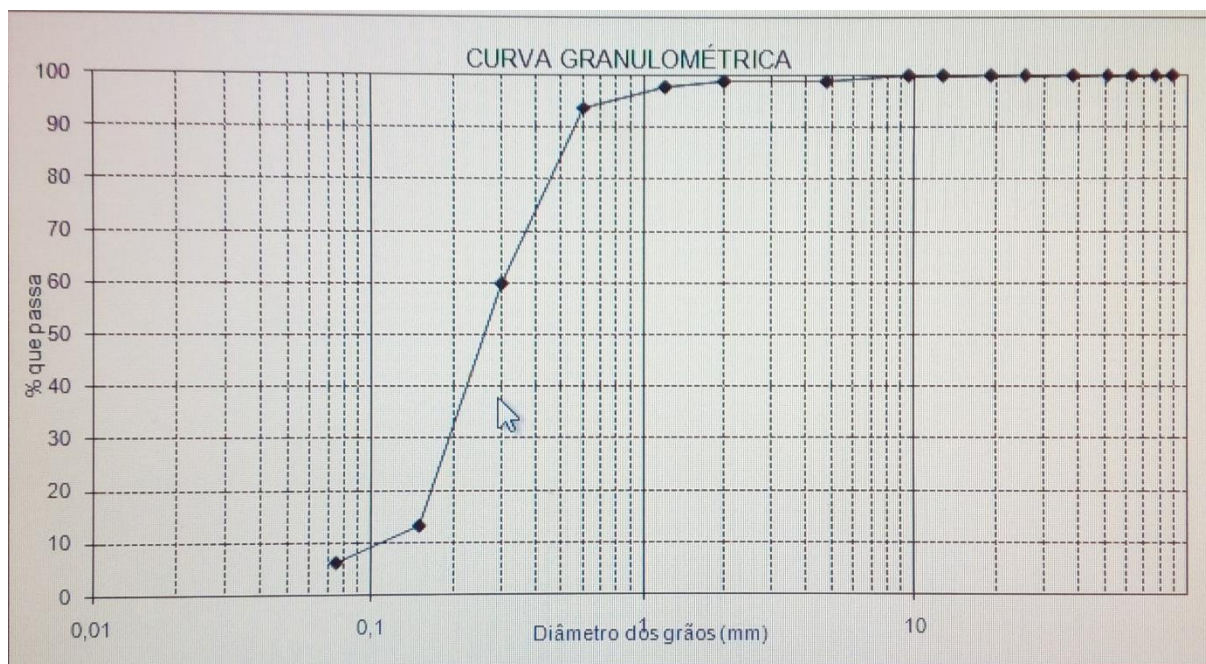


Tabela 4 - Composição granulométrica do arisco (%)

Tipo de areia	Porcentagem
Pedregulho	1
Areia grossa	0
Areia média	39
Areia fina	54
Silte + Argila	6

Fonte: Próprio autor (2017)

Gráfico 4 - Curva granulométrica do arisco



Fonte: Próprio autor (2017)

¹ Informação fornecida pelo Prof. Jeferson Klug em sua disciplina de Fundição

3.4.1 Processo de fabricação

Para que se encontre um padrão na fabricação dos moldes de arisco e gesso, foram feitas 21 amostras diferentes cada uma com uma porcentagem em massa de gesso diferente. A primeira amostra possuía 15% de gesso em massa e as outras aumentavam esse percentual em uma unidade cada, até a última amostra com 35% de gesso em massa. Na Tabela 5 é mostrada a quantidade de gesso presente em cada amostra.

Uma massa total de 250 g foi fixada para cada amostra, 0,5 g de manta acrílica foram utilizados em cada uma e 47,6 mL de água foram adicionados em cada amostra.

Na segunda etapa do estudo fixou-se uma porcentagem em massa de gesso de 25% e preparou-se 10 amostras, dessa vez variando a quantidade de água misturada. Na Tabela 6 é mostrada a quantidade de água presente em cada amostra.

A massa total foi fixada em 300 g por amostra, com 75 g de gesso e 225 g de arisco com cada uma, 0,5 g de manta acrílica foram adicionadas em cada amostra. A primeira amostra começou com uma proporção de 35% em peso para a massa total da mistura enquanto as amostras seguintes eram reduzidas em 2% cada.

Todas as peças precisam, antes de terem o metal vazado em si, retirar o modelo em cera que fica dentro do molde. Para isso elas são colocadas em um forno, entre 150 e 180°C durante 30 minutos para que toda a cera derreta e saia pela cavidade do molde por ação da gravidade.

Por último, antes do vazamento, o molde precisa ser calcinado. Esse processo acontece colocando-o em um forno a 600°C durante 30 minutos. Com o molde ainda quente o metal líquido é vazado.

Observou-se que o molde trincava e quebrava durante a calcinação. Foi necessária a adição de manta acrílica na mistura a ser calcinada para que a peça resistisse ao processo.

3.5 Qualidade da peça

Com a peça em metal solidificada é necessário que seja analisada a qualidade da peça produzida. Que tipos de defeitos elas possuem e qual a gravidade de cada defeito. É necessário também que se crie um critério para um estudo quantitativo da qualidade da peça produzida e não somente qualitativo.

Para isso resolveu-se usar um critério de Quantidade e Gravidade, ou seja, quantidade de defeitos encontrados na peça e a gravidade desses defeitos. Foi atribuída uma nota de 1 a 5 para cada critério, sendo o valor 1 o de quantidade e gravidade de defeitos mínima e o 5 de extrema quantidade e gravidade dos defeitos. A Tabela 7 mostra como funciona a avaliação da qualidade das peças.

Tabela 5 - Porcentagem de gesso em massa total presente em cada amostra

Amostra	Massa de arisco (g)	Massa de gesso (g)	Porcentagem de gesso (%)
A	212,5	37,5	15
B	210,0	40,0	16
C	207,5	42,5	17
D	205,0	45,0	18
E	202,5	47,5	19
F	200,0	50,0	20
G	197,5	52,5	21
H	195,0	55,0	22
I	192,5	57,5	23
J	190,0	60,0	24
K	187,5	62,5	25
L	185,0	65,0	26
M	182,5	67,5	27
N	180,0	70,0	28
O	177,5	72,5	29
P	175,0	75,0	30
Q	172,5	77,5	31

Amostra	Massa de arisco (g)	Massa de gesso (g)	Porcentagem de gesso (%)
R	170,0	80,0	32
S	167,5	82,5	33
T	165,5	85,0	34
U	162,5	87,5	35

Fonte: Próprio autor (2017)

O valor máximo da multiplicação seria 25 e o mínimo 1, por conta disso foi atribuído o valor 10 na escala para o valor máximo da multiplicação, 25. Ficamos assim com uma escala de avaliação para a qualidade das peças que vai de 1 a 10.

Tabela 6 - Variação do volume de água em cada amostra

Amostra	Porcentagem em peso (%)	Volume (mL)
1	35	105
2	33	99
3	31	93
4	29	87
5	27	81
6	25	75
7	23	69
8	21	63
9	19	57
10	17	51

Fonte: Próprio autor (2017)

Tabela 7 - Critério de avaliação das peças de metal

Q Quantidade	G Gravidade
5 = Excessiva quantidade de defeitos	5 = Extremamente grave
4 = Muitos defeitos	4 = Muito grave
3 = Quantidade média de defeitos	3 = Grave
2 = Poucos defeitos	2 = Pouco Grave
1 = Muito poucos defeitos	1 = Sem gravidade

Fonte: Próprio autor

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Cada etapa dos experimentos teve como objetivo chegar em uma fórmula ideal, para o molde de arisco e gesso que transmita o mínimo possível de defeitos para a peça final. Progressivamente os resultados nos mostram como essa fórmula para minimizar os erros deve ser.

4.1 Variação da quantidade de gesso

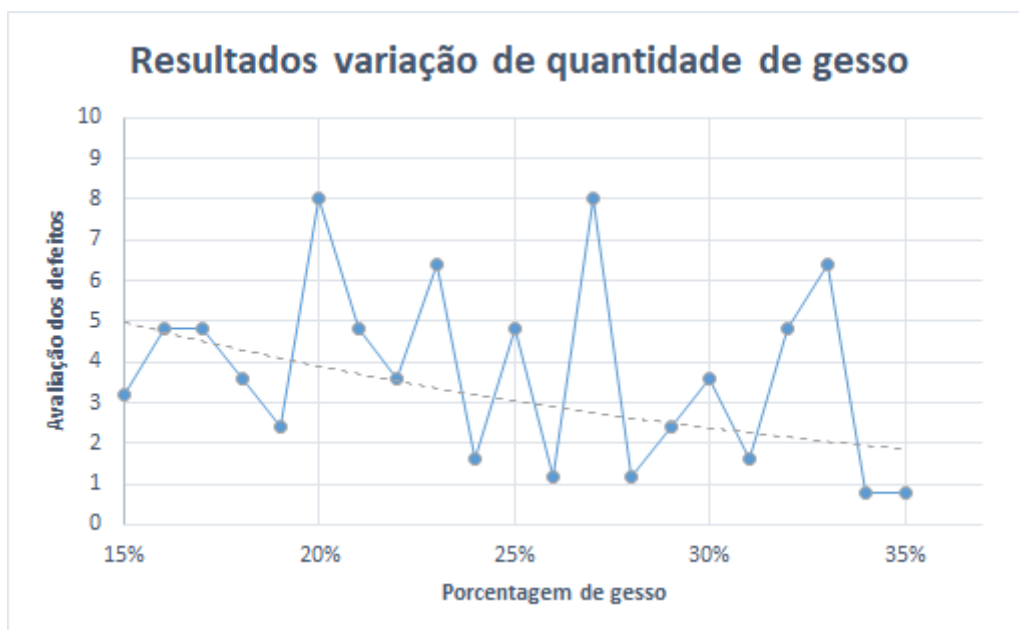
Primeiramente foi necessário encontrar uma faixa ideal para a quantidade de gesso para o molde. Os resultados encontrados podem ser vistos na Tabela 8 e estes foram plotados no Gráfico 5.

Tabela 8 - Variação da quantidade de gesso no molde

Amostra	Porcentagem de gesso	Q	G	Total	Avaliação de defeitos
A	15%	4	2	8	3,2
B	16%	4	3	12	4,8
C	17%	3	4	12	4,8
D	18%	3	3	9	3,6
E	19%	2	3	6	2,4
F	20%	4	5	20	8
G	21%	4	3	12	4,8
H	22%	3	3	9	3,6
I	23%	4	4	16	6,4
J	24%	2	2	4	1,6
K	25%	4	3	12	4,8
L	26%	1	3	3	1,2
M	27%	5	4	20	8
N	28%	1	3	3	1,2
O	29%	3	2	6	2,4
P	30%	3	3	9	3,6
Q	31%	2	2	4	1,6
R	32%	3	4	12	4,8
S	33%	4	4	16	6,4
T	34%	1	2	2	0,8
U	35%	1	2	2	0,8

Fonte: Próprio autor

Gráfico 5 - Resultados variação da quantidade de gesso



Fonte: Próprio autor (2017)

A linha pontilhada no Gráfico 5 representa a linha de tendência dos dados obtidos. Apesar de uma correlação fraca é possível observar a tendência da quantidade de defeitos diminuir com o aumento da quantidade de gesso. Isso nos indica que o gesso confere uma maior qualidade no acabamento do molde, criando uma cavidade com maior riqueza de detalhes dentro do molde.

Outro importante aspecto a ser notado é que as amostras P, R, S, T, e U que são as amostras com 30%, 32%, 33%, 34% e 35% de gesso, respectivamente, trincaram durante a calcinação. Isso mostra como apesar de oferecer melhor qualidade final a peça o gesso acarreta uma baixa resistência mecânica ao molde. Portanto, teores de gesso acima de 30% não são recomendados para essa mistura com arisco.

Os valores médios ideais para a qualidade final da peça, que seriam valores entre 22% e 28% de gesso em massa. Por conta disso, na segunda parte do experimento, onde testamos a quantidade de água ideal para a mistura, a porcentagem de 25% em massa de gesso foi escolhida.

4.2 Variação da quantidade de água

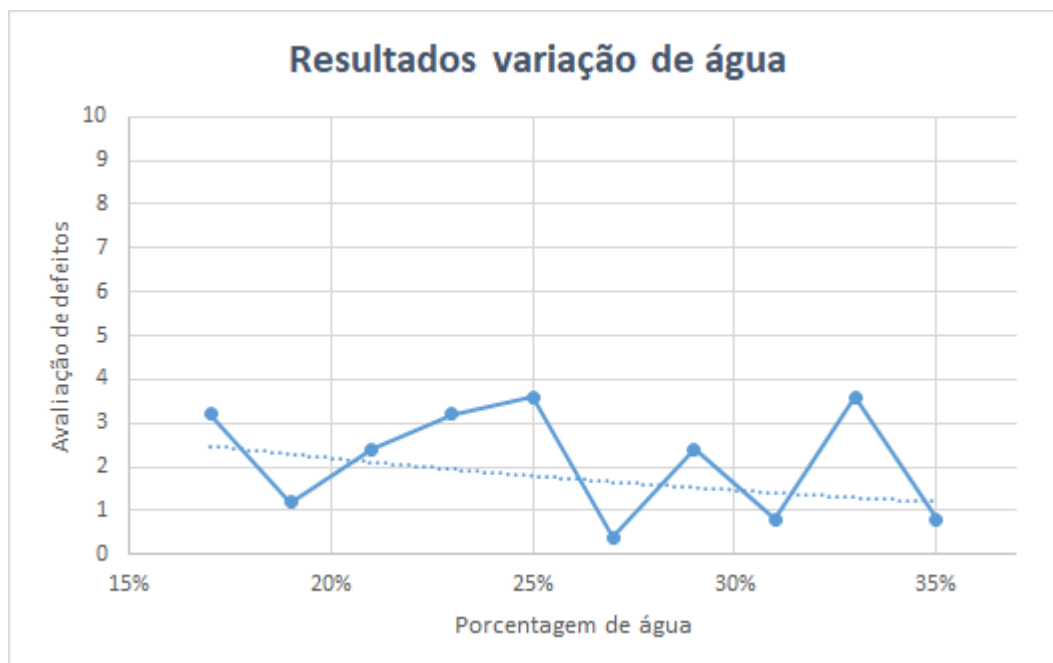
Com uma faixa ideal de quantidade de gesso em massa, se torna necessário agora encontrarmos uma quantidade de água ideal para a mistura. Os resultados obtidos foram coletados na Tabela 9 e plotados no Gráfico 6.

Tabela 9 - Variação da quantidade de água no molde

Amostra	Porcentagem de água	Q	G	Total	Avaliação dos defeitos
1	35%	2	1	2	0,8
2	33%	3	3	9	3,6
3	31%	1	2	2	0,8
4	29%	3	2	6	2,4
5	27%	1	1	1	0,4
6	25%	3	3	9	3,6
7	23%	2	4	8	3,2
8	21%	2	3	6	2,4
9	19%	1	3	3	1,2
10	17%	2	4	8	3,2

Fonte: Próprio autor (2017)

Gráfico 6 - Resultado variação da quantidade de água



Fonte: Próprio autor (2017)

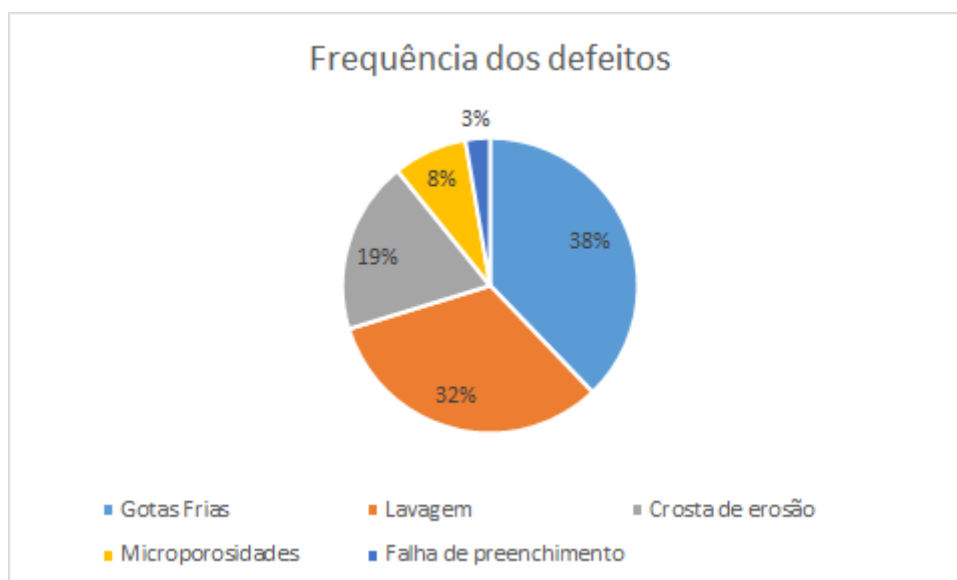
Existe uma fraca correlação entre a quantidade de água no molde e os defeitos na peça final. A tendência à diminuição dos defeitos existe, mas ela possui uma influência

pequena na qualidade da peça. Apesar disso, observou-se nas misturas dos moldes 1, 2 e 3 que possuem, 35%, 33% e 31% em água, respectivamente, o aquecimento da peça. Esse aquecimento acontece por conta da reação de hidratação da gipsita hemihidratada que libera calor. O aquecimento é sinal de que a reação está ocorrendo de forma acelerada.

4.3 Avaliação dos defeitos

Quando analisamos os defeitos de todas as 31 amostras conseguimos observar uma tendência nesses defeitos. Gotas frias, erosão por lavagem e crosta de erosão representam 89% dos defeitos encontrados nas peças. No Gráfico 7 podemos ver a distribuição dos defeitos em todas as peças.

Gráfico 7 - Frequência dos defeitos



Fonte: Próprio autor (2017)

Esses três principais defeitos ocorrem principalmente por conta da grande agitação do metal líquido no momento em que ele é vazado. O metal turbulento respinga e gera as gotas frias, o mesmo metal turbulento causa erosão na cavidade do molde e essa mesma turbulência arranca pedaços da parede do molde que depois formam as crostas de erosão.

Eles podem ser mitigados com a ajuda da criação de um canal de vazamento dentro do molde. Dessa forma, as peças podem sair com menos defeitos além de que dessa forma é possível aumentar a quantidade de peças feitas com a construção de árvores-modelo de fundição, como mostrado na Figura 3.

4.4 Listagem dos materiais necessários para uma pequena fundição

No presente estudo foi utilizada a liga ZA-12 para a fabricação das peças, porém, pode-se utilizar alumínio para esse processo, ou outras ligas não-ferrosas. O alumínio pode ser facilmente encontrado através da reciclagem de latinhas, ou em empresas de reciclagem de sucata.

O seu ponto de fusão não é tão baixo quanto o da ZA-12, ficando em torno de 660°C. Ainda assim o uso de latinhas de alumínio recicladas mostra que o processo pode ser uma alternativa de renda para diversas pessoas que trabalham no setor de reciclagem de alumínio.

Os materiais necessários seriam então:

- a) Metal usado para a fundição, podendo ser cobre, zinco ou o recomendado alumínio reciclado;
- b) Forno mufla, onde a retirada da cera e a calcinação da peça irá ocorrer;
- c) Latão de aço transformado no forno a cadinho removível será o local onde a fusão do metal. É importante que se utilize um recipiente de aço, menor, uma lata de aço por exemplo. Essa lata de aço que irá dentro do forno é onde o metal líquido ficará. Na Figura 8 podemos ver o forno a cadinho removível utilizado;
- d) Arisco, que pode ser comprado em qualquer depósito de construção;
- e) Gesso, também pode ser comprado em depósito;
- f) Manta acrílica, polietireno expandido, material utilizado para fabricação de colchões e travesseiros;
- g) Cera de carnaúba, pode-se utilizar também parafina para o processo;
- h) Silicone líquido;
- i) Carvão, o processo de aquecimento utiliza carvão como combustível;
- j) Para atingir temperaturas mais altas é necessária constante ventilação dentro do latão, para essa ventilação foi-se utilizado um secador de cabelo, porém, outras formas de prover essa fonte de vento também podem ser utilizadas.
- k) Copos descartáveis foram utilizados para a fabricação dos moldes, mas qualquer recipiente pode ser utilizado dependendo do tamanho da peça ou do forno que você possuir.

Figura 8 – Forno a cadinho removível utilizado na fundição



Fonte: Próprio autor (2017)

4.5 Estimativa de investimento inicial para uma pequena fundição

Na Tabela 10 pode ser encontrado uma estimativa para o investimento inicial na criação da fundição.

Tabela 10 – Estimativa de investimento inicial de uma pequena fundição

Materiais necessários	Quantidade	Preço estimado
Forno Mufla	1	R\$ 4.500,00
Lata de aço	1	R\$ 20,00
Silicone	900 mL	R\$ 180,00
Secador de cabelo	1	R\$ 50,00
Gesso	40kg	R\$ 20,00
Manta acrílica	10kg	R\$ 10,00
Carvão vegetal	20kg	R\$ 10,00
Arisco	20kg	R\$ 2,00
Sucata Alumínio	20 kg	R\$ 20,00
Cera de carnaúba	1kg	R\$ 30,00
Total		R\$ 4.842,00

Fonte: Próprio autor (2017)

O principal fator limitante para a fabricação das peças é o carvão, pois é ele o combustível do forno, 5kg de carvão são o suficiente para produzir 10 peças de alumínio

reciclado. A grande maioria dos outros materiais pode ser reutilizado, como a cera, o silicone e o arisco.

4.6 Processos necessários para uma pequena fundição

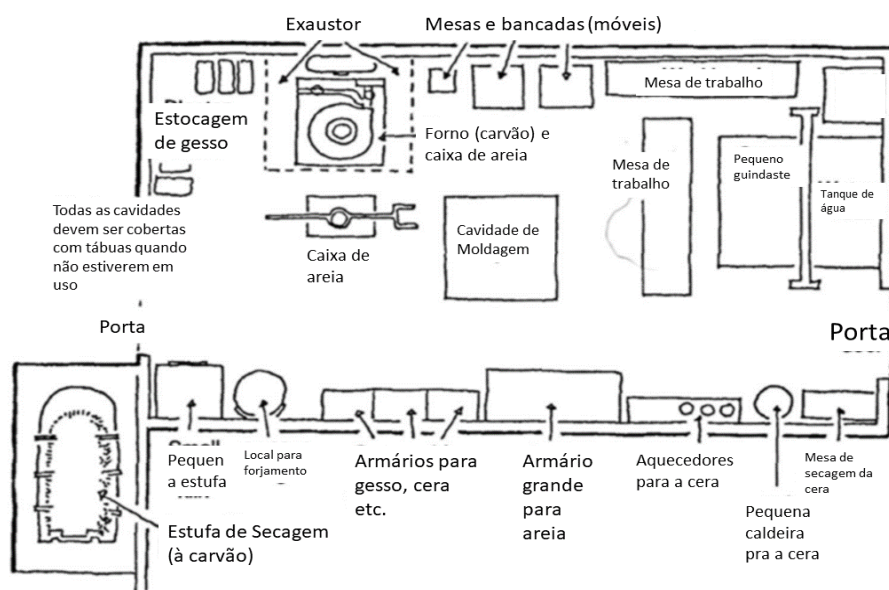
Antes da fabricação das peças de metal é importante a preparação do local onde ocorrerá a fundição dos metais e também a preparação do latão onde ocorrerá a fusão. Os principais processos são então:

- a) Preparação do local;
- b) Preparação do latão de aço;
- c) Fabricação dos modelos em cera;
- d) Fabricação das peças de metal.

4.6.1 Preparação do local

Na Figura 9 está desenhada a sugestão de um layout de uma pequena fundição, com todos os equipamentos necessários e sugestões de localização dos mesmos no ambiente. Não é necessário que se consiga todos os equipamentos listados na figura para dar início a fabricação de peças. Deve-se ter em mente que esse seria um layout em um cenário ideal para o início dos trabalhos.

Figura 9 - Sugestão de layout de pequena fundição



Fonte: Hurst, Steve. Metal casting: appropriate technology in the small foundry (1996)

Esse modelo de fundição possui um desenho que permite os mais variados tipos de trabalho, desde fundição em molde de areia até a fundição em cera perdida. Naturalmente as devidas adaptações devem ser realizadas dependendo do local, clima, capital investido etc.

4.6.2 Procedimentos operacionais padrão

Os três POPs a seguir definem como o forno de cadinho removível deverá ser preparado para a fusão dos metais. Um bom forno garantirá o sucesso do empreendimento. O seguinte processo descrito diz respeito à preparação dos modelos em cera que serão utilizados durante a fundição.

Por último, temos a descrição do processo de fundição das peças em si, para o uso adequado desse procedimento os procedimentos anteriores a ele devem ter sido executados corretamente.

	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO - POP	Página 1 de 2
Data Emissão NOV/2017		Nº 001
ASSUNTO: Preparação do forno a cadinho removível para a fundição		

OBJETIVO

É objetivo deste procedimento é descrever as ações e materiais necessários para a preparação do forno a cadinho removível que será usado durante a fundição.

RESULTADOS ESPERADOS

Lata de aço revestida internamente com material refratário e com entrada para sopro de vento pronta para uso em uma fundição.

MATERIAIS NECESSÁRIOS

- Lata de aço com no mínimo 20L de volume;
- Gesso;
- Areia seca;
- Água;
- Cano de aço;
- Secador de cabelo.

AÇÕES A SEREM EXECUTADAS

1. Fazer um furo na parte inferior da lata, grande o suficiente para que o cano passe.
2. Inserir o cano no buraco, o suficiente para que o ar possa ser soprado por ele para dentro da lata. Ele deve ser inserido na diagonal para melhorar a circulação do vento que vai passar por ele.
3. Preparar uma mistura com 50% areia e 50% gesso em massa.
4. Depois de misturada, adicionar 1/3 em volume de água.
5. Depois de adicionada a água passar a mistura na parede interna da lata e no seu fundo. Tendo a precaução de não tampar a saída de ar do cano.
6. Esperar a secagem ao ar durante 8 horas, no mínimo.
7. Conectar um secador de cabelo no cano de aço.

OBSERVAÇÕES

- Depois de seco verificar a qualidade do revestimento na lata. Checar se a parede está firme e não se deteriora facilmente.
- Depois de adicionada a água a mistura deve ser passada na parede rapidamente, pois o endurecimento do gesso é muito acelerado pela mistura.

	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO - POP	Página 1
Data Emissão NOV/2017		Nº 002
ASSUNTO: Preparação dos modelos em cera		

OBJETIVO

O objetivo desse procedimento é listar os materiais necessários e descrever as ações a serem executadas para a fabricação dos modelos em cera.

RESULTADOS ESPERADOS

- Peças de cera com o formato desejado para a peça esperada;
- Moldes de silicone que podem ser reutilizados no futuro para a fabricação de mais modelos em cera.

MATERIAIS NECESSÁRIOS

- Silicone líquido e ativador para formar a borracha de silicone;
- Recipiente para o silicone, copos descartáveis, por exemplo;
- Modelo original em madeira, metal, plástico ou qualquer outro tipo de material que carregue a sua forma final.
- Cera de carnaúba;
- Forno mufla.

AÇÕES A SEREM EXECUTADAS

1. Despejar o silicone líquido no recipiente, como copo descartável por exemplo.

2. Mergulhar a o modelo original dentro do silicone.
3. Adicionar o ativador e esperar até que o silicone endureça.
4. Retirar o silicone solidificado do recipiente e realizar um corte na sua lateral. O suficiente para retirar o modelo original de dentro e preservar a cavidade formada.
5. Aquecer a cera a 100°C no forno até que ela se torne líquida.
6. Despejar a cera líquida na cavidade do silicone sólido.
7. Esperar a cera solidificar e retirar a peça em cera de dentro.

OBSERVAÇÕES

- Não é recomendado utilizar temperaturas maiores do que 100°C pois há um risco de danificar a borracha de silicone.
- A borracha de silicone pode ser reutilizada para a fabricação de novos modelos em cera no futuro.

	PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO - POP	Página 1 de 2
Data Emissão NOV/2017		Nº 003
ASSUNTO: Fabricação das peças em metal		

OBJETIVO

Descrever o processo de fundição utilizado no LaF, usando os recursos mencionados nos POPs anteriores.

RESULTADOS ESPERADOS

Peças em metal com poucos defeitos, prontos para uso, ou decoração.

MATERIAIS NECESSÁRIOS

- Forno a cadinho removível (ver POP nº1).
- Forno mufla
- Lata de aço menor, 1L, por exemplo.
- Carvão vegetal.
- Secador de cabelo.
- Metal a ser usado na peça (Alumínio, Zinco, Cobre etc.).
- Gesso.
- Arisco.
- Água.
- Manta acrílica.
- Modelos em cera.

AÇÕES A SEREM EXECUTADAS

1. Fazer uma mistura com 75% arisco e 25% gesso (em um copo descartável de 250mL cabem 300g da mistura com água).
2. Adicionar 0,5g de manta acrílica para cada 300g de mistura de arisco e gesso. A manta acrílica deve ser desfiada e misturada com o arisco e o gesso.
3. A partir dessa massa total da mistura, calcular 30% em massa e adicionar esse valor em água. Misturar bem a água com os outros ingredientes até que se forme uma massa viscosa.
4. Derramar essa massa dentro de um recipiente escolhido e mergulhar o modelo em cera dentro da massa.
5. Deixar a massa secar durante 8 horas, essa massa depois de seca será o molde.
6. Colocar o molde em um forno a 100°C com a saída virada para baixo até que toda a cera derreta e vaze por gravidade dentro de algum recipiente que você deve colocar no forno. Essa cera pode ser reutilizada para a preparação de outros modelos em cera.
7. Depois de vazada a cera o molde deve ir agora para a calcinação, que ocorre no forno mufla a 600°C durante 30 min. Tempo necessário para retirar toda a água, a cera e calcinar o material.
8. Despejar o carvão dentro da lata de aço e acendê-lo. Depois que o carvão estiver aceso ligar o secador de cabelo na extremidade exposta do cano, para que o vento aumente a velocidade de queima do carvão.
9. No mesmo fogo alto colocar a lata de aço menor com o metal a ser utilizado dentro dela. Todo o metal precisa ser fundido até que fiquemos com uma lata dentro do forno com o metal líquido dentro dela.
10. Com uma pinça retirar, com cuidado, a borra de óxido formada na superfície do metal líquido.
11. Vazar o metal líquido, com cuidado, dentro do molde e esperar até o resfriamento.
12. Quebrar o molde e retirar a peça de metal.

OBSERVAÇÕES

- Depois de alguns minutos já é possível retirar a casca cerâmica de dentro do recipiente utilizado. A secagem do molde fora do recipiente acontecerá de maneira mais rápida.

4.7 Fotos do processo de fundição em cera perdida no laboratório de fundição

Segue abaixo, nas Figuras 10, 11, 12 e 13 algumas fotos das diferentes etapas do processo feito em laboratório.

Figura 10 – Cascas cerâmicas utilizadas



Fonte: Próprio autor (2017)

Figura 11 – Cascas cerâmicas com metal líquido vazado



Fonte: Próprio autor (2017)

Figura 12 – Peça final



Fonte: Próprio autor (2017)

Figura 13 – Peças finalizadas



Fonte: Próprio autor (2017)

Figura 14 – Rei, peça final



Fonte: Próprio autor (2017)

Figura 15 – Rainha, peça final



Fonte: Próprio autor (2017)

Figura 16 – Peão, peça final



Fonte: Próprio autor (2017)

5 CONCLUSÃO

Em um mercado em crise é imprescindível para a economia brasileira encontrar saídas tecnológicas para a sua produção. Diante de um cenário de incerteza econômica nós precisamos da união de todas as forças disponíveis para o sucesso do nosso país.

É necessário então que a academia una forças com o setor privado para oferecer soluções de qualidade para a sociedade. Este presente trabalho apresenta uma tentativa de aproximação dessa solução para a sociedade.

Foi apresentado nele um modelo de pequeno negócio, no caso uma fundição que utiliza cera perdida, como uma alternativa de baixo custo para quem deseja empreender. O processo de baixo custo que ocorre no Laboratório de Fundição da UFC foi padronizado e esse trabalho vem trazer essa padronização para que esse processo possa ser replicado de maneira mais simples.

O desenvolvimento dos POPs necessários foi concluída, e os principais processos presentes no laboratório foram padronizados. São esses mesmos processos que devem agora ser levados para um público fora da universidade.

6 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Vários questionamentos surgiram durante o trabalho que podem ser endereçados em trabalhos futuros na área. Certos estudos sobre variáveis que atuam no processo também não tiveram uma observação mais aprofundada, algo que pode ser feito em outros trabalhos.

Um estudo diferenciado, aprofundado e estatístico sobre a influência de outros fatores deve ser levado em conta para o desenvolvimento de pesquisas no futuro. Abaixo segue uma listagem de sugestões de trabalhos futuros:

- a) Tentar padronizar o processo de fundição usando outros materiais no molde que não o arisco;
- b) Estudar o efeito da inclinação do modelo no molde sobre a quantidade de defeitos na peça final, o que pode evitar o efeito das gotas frias;
- c) Testar a aplicação das sugestões feitas no trabalho em uma fundição fora do âmbito da universidade;
- d) Realizar mais testes com diferentes quantidades de água para conhecer melhor o efeito dela na qualidade do molde.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO. **Anuário ABIFA 2016**. ABIFA, 2016.

Disponível em: <<https://goo.gl/FRB9MX>>. Acesso em: 22 nov. 2017.

BEELEY, Peter. **Foudry technology**. 2.ed. Woburn: Butterworth-Heinemann, 2001.

CASOTTI, Bruna Pretti; FILHO, Egmar Del Bel; CASTRO, Paulo Castor. **Indústria de fundição**: situação atual e perspectivas. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social: 2011. Setorial 33, p. 121-162. Disponível em: <<https://goo.gl/K7vGm3>>. Acesso em: 22 nov. 2017.

EASTERN ALLOYS INC. **Zinc die casting alloys**. Disponível em:

<<https://goo.gl/DoaX4G>>. Acesso em 25 nov. 2017.

FALCONI, Vicente. **Qualidade total**: padronização de empresas. 2. ed. Minas Gerais: Falconi, 2014.

GROOVER, Mikell P. **Introdução aos processos de fabricação**. São Paulo: LTC, 2014. cap.5 e 6.

LEÃO, Angelo Bezerra. **Estudo de uma nova liga de alumínio envelhecida natural e artificialmente**. 2017. Monografia (Graduação em Engenharia Metalúrgica) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

MARTINS, Rosemary. **Procedimento operacional padrão (POP)**. Postado em 17 jan. 2013. Disponível em: <<https://goo.gl/S8uPUm>>. Acesso em: 21 nov. 2017.

MOREIRA, Eugênio *et al.* **Documentation and digital fabrication methods for restoration of clectic metal ornaments**. Frontiers of Science and Technology, 2016

SCARTEZINI, Luís Maurício Bessa. **Análise e melhoria de processos**. Goiânia, 2009. Disponível em: <<https://goo.gl/3ZxUDC>>. Acesso em: 21 nov. 2017.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. **Saiba qual é o perfil dos pequenos negócios no Brasil**. Postado em 13 out. 2015. Disponível em: <<https://goo.gl/tMSdGi>>. Acesso em 22 nov. 2017.

_____. **O empreendedorismo e o mercado de trabalho**. Agosto de 2017. Disponível em: <<https://goo.gl/2oFx3Y>>.

SOUSA, M. V. B. **Como fazer um procedimento operacional padrão**. Postado em: 16 fev. 2011. Disponível em: <<https://goo.gl/2i8fXp>>. Acesso em: 21 nov. 2017.

VIEIRA, Maurício. Ceará é líder na produção nacional de cera de carnaúba. **Diário do Nordeste**, Fortaleza, 27 nov. 2008. Disponível em: <<https://goo.gl/ng3CWe>>. Acesso em: 25 nov. 2017.