



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA METALÚRGICA E DE MATERIAIS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA METALÚRGICA

FRANCISCO HENRY SILVA DE MARIA

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DO PROCESSO DE FUNDIÇÃO
EM AREIA VERDE NA PRODUÇÃO DE PLACAS DE ZINCO**

FORTALEZA

2022

FRANCISCO HENRY SILVA DE MARIA

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DO PROCESSO DE FUNDIÇÃO EM
AREIA VERDE NA PRODUÇÃO DE PLACAS DE ZINCO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais 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

2022

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)

- M285a Maria, Francisco Henry Silva de.
Análise da influência dos parâmetros do processo de fundição em areia verde na produção de placas de zinco / Francisco Henry Silva de Maria. – 2022.
36 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Metalúrgica, Fortaleza, 2022.
Orientação: Prof. Dr. Jeferson Leandro Klug.
1. Fundição. 2. Areia verde. 3. Zinco. I. Título.

CDD 669

FRANCISCO HENRY SILVA DE MARIA

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DO PROCESSO DE FUNDIÇÃO EM
AREIA VERDE NA PRODUÇÃO DE PEÇAS DE ZINCO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Departamento de Engenharia Metalúrgica e de
Materiais 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)

MSc. Samuel Lucas Santos Medeiros
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Engenheiro Metalúrgico João Lucas Sampaio Damasceno
Durametal. LTDA

A Deus.

Aos meus pais, Fabio e Rita.

Agradecimentos

Agradeço acima de tudo a Deus pelo dom da vida, por seu amor e misericórdia.

Aos meus pais por sempre apoiarem e investirem nos meus estudos.

À minha namorada Thamilys Lima pelo amor, atenção e apoio durante minha jornada.

Ao Prof. Dr. -Ing. Jeferson Leandro Klug pela excelente orientação, pela disponibilização de materiais e pelos ensinamentos no laboratório.

Aos amigos de longa data, Adson Alves, Antônio de Brito, Luis Felipe e Narcélio Marques, que acompanharam toda minha trajetória até esse momento.

Aos meus amigos de graduação, Fernando Amaral, Cesanildo Souza, Bruno Ribeiro, Caio Justa, Vinícius Feitosa, Pablo Andreson, Daniel Santos, Thomas Barbosa, Leonardo Andrade, Carlos Viana por todos os momentos de descontraídos e compartilhamento de experiências.

Aos professores do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais pelos ensinamentos e experiências repassadas.

À CAPES, pelo apoio.

À Durametal LTDA. por ter doado a areia verde para confecção dos moldes, pois sem essa doação este trabalho não poderia ser realizado.

“Cada sonho que você deixa pra trás, é um
pedaço do seu futuro que deixa de existir”.

Steve Jobs

RESUMO

O processo de fundição em areia verde é amplamente utilizado na produção de peças metálicas, pois os moldes de areia apresentam forte resistência às altas temperaturas atingidas durante esses processos. Além disso, é uma técnica de fácil aplicação e de baixo custo, que pode ser realizada tanto de forma manual, como de forma automatizada. Ela consiste na criação de um molde utilizando um modelo do formato da peça desejada, que será comprimido junto à areia verde. Após isso, o modelo será removido deixando somente a cavidade para o vazamento do metal. Para que a peça produzida seja considerada aceitável, é necessário que ela apresente uma baixa variação dimensional e poucos defeitos na superfície, como porosidades, rugosidades e rebarba. Esta técnica é utilizada nos trabalhos práticos do Laboratório de Fundição da Universidade Federal do Ceará. Diante disso, com o objetivo de aperfeiçoar a técnica, foram realizados testes com os parâmetros do processo, como a alteração dos canais de vazamento, a utilização de moldes bipartidos e a mudança no tempo de secagem do molde. O metal escolhido para o procedimento foi zinco e essas alterações deram resultado, produzindo peças com um bom acabamento.

Palavras-chave: Fundição; Areia verde; Zinco;

ABSTRACT

The green sand casting process is widely used in the production of metallic pieces, as sand molds have good resistance at high temperatures reached during processes. Furthermore, it is an easy and low-cost technique, which can be performed both manually and automatically. It consists of creating a mold using a model of the shape of the chosen piece, which will be pressed together with the green sand. After that, the model will be created only to the cavity for the metal casting. For the adapted part to be acceptable, it is necessary that it present a dimensional variation and few surface features, such as porosity, roughness and burr. This technique is used in practical work at the Foundry Laboratory of the Federal University of Ceará. Therefore, in order to improve the technique, tests were carried out with the process parameters, such as changing the pouring channels, the use of split molds and the change in the mold drying time. The metal chosen for the procedure was zinc and these changes worked, producing parts with a good finish.

Keywords: Foundry; Green sand; Zinc;

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Interface sólido/ líquido na solidificação do metal	20
Figura 2	– Etapa de compactação da areia	22
Figura 3	– Canais de alimentação na caixa superior	22
Figura 4	– Remoção dos modelos dos canais (a) e a abertura do canal de entrada (b)	23
Figura 5	– Posicionamento para o vazamento do metal	23
Figura 6	– Peça modelo (a) posicionada na caixa inferior (b)	24
Figura 7	– Aplicação do desmoldante (a) e compactação da areia (b)	25
Figura 8	– Posicionamento da caixa superior	26
Figura 9	– Canal de entrada do metal criado na caixa inferior	27
Figura 10	– Canais de saída dos gases (seta amarela) e vazamento (seta vermelha)	27
Figura 11	– Cadinho de grafita (a) e forno mufla (b)	28
Figura 12	– Molde posicionado na caixa de areia (a) e o molde após o vazamento (b)	29
Figura 13	– Superfície superior (a) e inferior (b) da peça número 01	31
Figura 14	– Superfície superior (a) e inferior (b) da peça número 02	32
Figura 15	– Superfície superior da peça 03	33
Figura 16	– Vista lateral da peça número 03	34
Figura 17	– Canal de entrada da peça número 4	34
Figura 18	– Superfície superior (a) e inferior (b) da peça número 4	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LaF Laboratório de Fundação

UFC Universidade Federal do Ceará

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
g	Gramas
°C	Graus Celsius

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	14
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1	O processo de fundição	15
3.2	Fundamentos da fundição	16
<i>3.2.1</i>	<i>Modelagem</i>	16
<i>3.2.2</i>	<i>Modelo</i>	16
<i>3.2.3</i>	<i>Fusão</i>	17
<i>3.2.4</i>	<i>Vazamento</i>	17
<i>3.2.5</i>	<i>Solidificação</i>	18
<i>3.2.6</i>	<i>Contração</i>	18
3.3	Defeitos na fundição	19
<i>3.3.1</i>	<i>Microporosidade</i>	19
<i>3.3.2</i>	<i>Macroporosidade</i>	20
<i>3.3.3</i>	<i>Gases</i>	20
3.4	Fundição em areia verde	21
3.5	Etapas do processo em areia verde	21
4	METODOLOGIA	24
4.1	Modelo utilizado	24
4.2	Confecção do molde em areia verde	24
4.3	Fusão do zinco, preparação do vazamento e usinagem da peça	28
5	RESUTADOS E DISCUSSÃO	30
5.1	Avaliação superficial	30
<i>5.1.1</i>	<i>Análise da peça 01</i>	30
<i>5.1.2</i>	<i>Análise da peça 02</i>	32
<i>5.1.3</i>	<i>Análise da peça 03</i>	33
<i>5.1.4</i>	<i>Análise da peça 04</i>	34
6	CONCLUSÃO	36
	REFERÊNCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

No Laboratório de Fundição (LaF) do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, são aplicados e desenvolvidos diversos tipos de processos, tomando como partida os conhecimentos adquiridos na sala de aula por meio da disciplina de Fundição. Entre eles, há um processo bastante praticado no local, a fundição em areia verde.

Este processo é utilizado para transformar diversos tipos de metais em peças que podem ser utilizadas na indústria dos mais variados ramos, como, por exemplo, o de automóveis, pois apresenta um custo baixo e uma boa produtividade. Tal processo consiste em realizar o vazamento do metal líquido em um molde feito com areia verde com as medidas e formatos de acordo com a peça desejada.

Visando padronizar o processo, este trabalho foi realizado na tentativa de desenvolver o método de produção de peças com fundição em areia verde, utilizando um molde do tipo bipartido. O metal utilizado foi o zinco puro, sendo estudados os parâmetros do processo e a sua influência. Ao final do trabalho, as peças produzidas serão apresentadas e discutidas as suas qualidades e seus defeitos, bem como buscando evidenciar a influência de cada parâmetro.

2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é aplicar e avaliar o processo de fundição em areia verde na produção de placas de zinco utilizando um molde bipartido, alterando parâmetros como o tempo de secagem, tamanho e formato dos canais de vazamento e de saída dos gases. Além disso, a finalidade específica deste trabalho é produzir 24 placas de zinco.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 O processo de fundição

Fundição é um processo no qual o metal fundido flui pela força da gravidade, ou por ação de outra força, num molde em que ele solidifica com a forma da cavidade do molde. O termo fundido é aplicado ao componente ou peça obtida por esse processo (GROOVER, 2014).

O processo de fundição pode ser utilizado na produção de lingotes e de peças. Na fundição de lingotes, são produzidos fundidos de grande porte que posteriormente serão utilizados em conformações mecânicas. Por outro lado, na fundição de peças, são produzidos fundidos com uma geometria mais complexa, com o formato bem próximo do desejado, necessitando de algumas etapas adicionais, como uma usinagem. Além disso, existem técnicas em que o fundido já é produzido em seu formato desejado.

A fundição possui vantagens que a destaca dentre outros processos, sendo algumas delas:

- Produção de peças complexas, seja externa ou interna;
- Pode ser aplicada em qualquer metal que possa ser aquecido até seu estado líquido;
- Produção de peças de grandes dimensões;
- Possibilidade de fabricar em ligas de aços e ferros especiais (específicas para cada projeto);
- Após a elaboração do modelo, a fabricação fica rápida;
- Redução de mão de obra especializada;
- Fácil fabricação em ligas de ferro fundido cinzento e nodular;
- Baixo risco de empenamento.

Em contrapartida, existem algumas desvantagens oriundas do processo, variando de acordo com o tipo de processo utilizado, como, por exemplo, porosidades, limitações em propriedades mecânicas e baixa precisão dimensional.

3.2 Fundamentos da fundição

3.2.1 Modelagem

A primeira etapa de um processo de fundição é a modelagem, sendo uma das mais importantes, pois é nesta etapa que deve ser considerado os detalhes da peça, seu formato, suas dimensões e o material utilizado a fim de que sejam minimizados os defeitos nas peças solidificadas.

A etapa de modelagem é a que deve levar em conta o design que dará a forma da peça, ou seja, tem como finalidade imprimir as formas e as dimensões das peças no molde de fundição, sendo o momento em que deve ser considerado se o material que foi selecionado suportará a contração do metal fundido (WEISS, 2012).

3.2.2 Modelo

O modelo de uma peça a ser obtida em fundição é utilizado para dar forma e dimensões à cavidade do molde. Os materiais mais utilizados para a confecção destes são madeiras, metais e polímeros. A diferença entre eles consiste em sua vida útil de trabalho, manutenção, resistência ao desgaste e peso.

Independente do material, todos devem atender a uma série de requisitos, tais como, considerar o volume de produção, eliminar os rebaixos, prever a colocação dos canais de vazamento, considerar o volume de produção e estudar adequadamente a locação dos machos (CHIAVERINI, 1986). Ainda, caso a peça passe por um processo de usinagem, tem que ser considerado o sobremetal de acordo com o que a engenharia definir, o acréscimo para compensar a contração de solidificação que ocorre durante o resfriamento *liquidus/solidus* e as marcações de macho, que tem o papel de permitir o posicionamento do macho (BALDAM; VIEIRA, 2013).

Em alguns casos, a própria peça pode ser utilizada como modelo, porém deve ser considerado um aumento de suas dimensões de modo que seja compensado os efeitos de contração (TÂMEGA, 2017).

3.2.3 Fusão

A fusão é a transformação da carga metálica sólida em material líquido, visando atender a composição química planejada através da passagem de calor proveniente de uma fonte, para que posteriormente o metal possa ser vazado no molde de modo que preencha todas as cavidades.

De acordo com Kiminame, Castro e Oliveira (2013), nesta fase deve ser precisamente processada a composição química, pois as propriedades e a microestrutura da peça fundida dependem dela e do seu processamento. Diante disso, é importante ter conhecimento da composição e da pureza do material utilizado a fim de que as propriedades do metal fundido a ser vazado no molde seja igual ao especificado.

O processo mais quente da fundição é a fusão, em que o metal é posto para fundir dentro de um equipamento de fundição. E este equipamento é feito para resistir a temperaturas superiores a necessária para a fusão do metal (WEISS,2012).

3.2.4 Vazamento

Após a etapa de aquecimento e fusão, o metal está pronto para o processo de vazamento, que consiste em depositar o metal fundido dentro do molde. O metal irá preencher todas as cavidades do molde, obtendo uma forma semelhante à peça a ser fabricada. Segundo Kiminame, Castro e Oliveira (2013), o vazamento vai depender da composição química da liga, temperatura de fusão, intervalo de solidificação e do superaquecimento (momento em que o metal está acima da sua temperatura de fusão) e de sua fluidez.

Diante disso, destaca-se a temperatura de vazamento, que consiste na temperatura do metal líquido quando ele é introduzido no molde. É essencial saber a diferença entre a temperatura de vazamento e a de início da solidificação, o que é chamado de superaquecimento. Conforme Kiminame, Castro e Oliveira (2013), o superaquecimento deve ser bem especificado, pois com a temperatura baixa pode fazer com que o metal se solidifique sem que preencha o molde por completo.

Já a taxa de vazamento é outro parâmetro que deve ser considerado, ela representa a vazão em que o metal fundido é despejado no molde. Se a taxa for muito lenta, o metal resfria e para de fluir de modo que não completa o preenchimento da cavidade; por outro lado, se a taxa for excessiva, causará um fluxo turbulento. Um fluxo turbulento e irregular deve ser evitado, pois traz uma série de problemas, como a erosão do molde, acarretado por uma

degradação gradual do molde devido ao impacto do fluxo de metal fundido e, conseqüentemente, prejudicando a geometria do fundido. Além disso, ele tende a acelerar a formação de óxidos que podem ficar aprisionados durante a solidificação, ocasionando uma degradação do fundido (GROOVER, 2014).

3.2.5 Solidificação

A solidificação pode ser entendida como um processo de transformação da fase líquida para a fase sólida que, de forma controlada, é largamente utilizada na indústria metalúrgica, apresentando diferenças se o metal estiver na sua forma pura ou na forma de ligas metálicas.

Os metais puros solidificam a uma temperatura constante igual a temperatura de fusão. Porém, a solidificação leva um tempo, chamado de tempo de solidificação local, em que calor do fundido é transferido para o molde. Já o tempo de solidificação total é o tempo entre de vazamento e fim da solidificação. (GROOVER, 2014). Já as ligas metálicas se solidificam em uma faixa de temperatura, não apresentando uma temperatura de solidificação constante.

À medida que o calor é extraído através da parede do molde, uma fina camada de metal sólido é formada na interface com o molde, imediatamente após a fundição. Ao passo que a solidificação avança em direção ao centro da cavidade, a espessura da camada aumenta, formando uma casca ao redor do metal fundido. A velocidade de solidificação depende do calor transferido para o molde e das propriedades térmicas do molde (TÂMEGA, 2017).

3.2.6 Contração

A contração é uma redução no volume de peças fundidas que ocorre em três momentos: a contração no estado líquido, por conta do aumento da densidade do metal; a contração na solidificação, por causa da cristalização; a contração no estado sólido, devido ao resfriamento do metal sólido. Em geral, as contrações provocam defeitos no fundido. Em razão disso, devem ser controladas (TÂMEGA, 2017).

3.3 Defeitos na fundição

Defeitos de fundição podem ser definidos como uma descontinuidade ou heterogeneidade em relação à qualidade da peça fundida. Por ser um processo que envolve várias etapas, todos os setores de uma fundição podem ser responsáveis pela geração de defeitos.

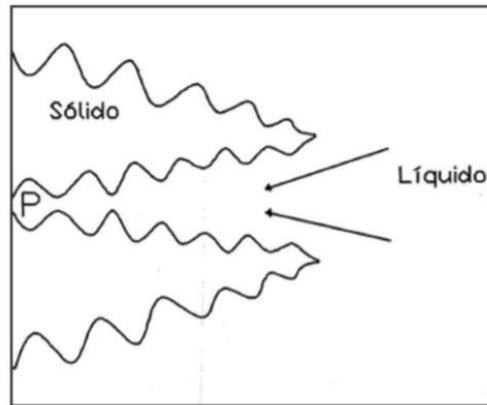
Os defeitos podem ser provenientes do banho metálico; ou durante o vazamento do metal, como, por exemplo, defeitos de erosões ao usar molde de areia quando há turbulência no escoamento do metal líquido; ou ainda podem ser decorrentes do modo de solidificação, como porosidades, inclusões, trincas de contração e outros, ou seja, podem ser originados em qualquer etapa do processo e por diversas razões (MARQUES, 2008).

3.3.1 Microporosidade

As porosidades podem surgir devido à contração durante a solidificação na forma de macroporosidades ou microporosidades, que também podem ser entendidos como macrorrechupes ou microrrechupes (MÜLLER, 2002).

Segundo Colpaert (2008), os microrrechupes ou microporosidades estão geralmente vinculados ao intervalo de solidificação da liga, pois se localizam no espaço interdendrítico quando se inicia a zona pastosa e o projeto foi mal desenvolvido de modo que, conseqüentemente, não apresenta pressão metalostática (pressão exercida pelo metal líquido dentro do molde) suficiente para avançar contra o crescimento das dendritas. Na figura 1, mostra-se uma ilustração da formação das dendritas no metal líquido com a formação de porosidade.

Figura 1 – Interface sólido/ líquido na solidificação do metal.



Fonte: Colpaert (2008)

3.3.2 Macroporosidade

A macroporosidade é um defeito caracterizado pelas contrações concentradas em um único ponto formando um vazio na peça. Estes vazios podem localizar-se na região interna das peças e próximos à superfície. No entanto, estes problemas podem ser controlados por meio de considerações no projeto da peça fundida. Uma das formas mais usuais em fundição para evitar os efeitos indesejados da contração durante a solidificação é por meio do uso de alimentadores, que também são conhecidos como massalotes.

3.3.3 Gases

Há também a porosidade oriunda dos gases presentes no metal líquido, esse defeito pode estar disperso em todo fundido, porém é mais comum encontrá-lo na última região a se solidificar.

Para o caso de gases dissolvidos no metal líquido, pode-se dizer que ficam nesta condição, pois são solúveis neste estado, contudo à medida que o metal vai se solidificando, a solubilidade desses gases tende a diminuir e serão rejeitados neste processo (BALDAM,2014).

O gás não solubilizado (supersaturado) poderá ser eliminado através da superfície livre do metal líquido, desde que a difusão do líquido permita, ou pela nucleação de bolhas de

gás. Por vezes, essas bolhas não conseguem escapar pela superfície e ficam presas no metal sólido, causando defeitos de porosidade nas peças fundidas (GARCIA, 2007).

3.4 Fundição em areia verde

Ao produzir uma peça metálica por meio de um processo de fundição, deve-se utilizar um molde no qual o metal líquido será vazado para que ele copie a sua forma geométrica. É possível produzir um molde de fundição de diversas maneiras, sendo, de um modo geral, constituídos de um material que seja capaz de suportar as altas temperaturas de fusões das ligas metálicas. Dentre estes materiais, as areias são bastante utilizadas, formando a classe dos moldes refratários (TÂMEGA, 2017).

O Molde de areia é o mais tradicional utilizado na fundição, que consiste no posicionamento do modelo na areia para obter o formato geométrico da peça a ser fundida no molde (BALDAM; VIEIRA, 2013). A moldagem em areia verde é a técnica mais simples e mais utilizada. Ela consiste em compactar uma mistura refratária plástica – chamada areia de fundição –, composta essencialmente de areia silicosa, argila e água, sobre o modelo colocado ou montado na caixa de modelagem (CHIAVERINI, 1986).

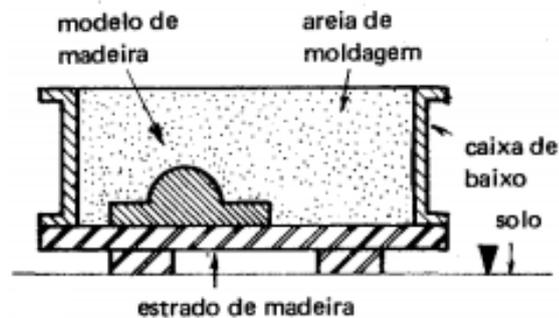
Segundo Tâmega (2017), algumas proporções são recomendadas na produção da areia, embora, na prática de fundição, ocorram variações nessas proporções. É recomendado em torno de 90% de areia, com 7% de argila e 3% de água, mas os ajustes de correção devem ser realizados conforme a necessidade.

Além disso, a areia utilizada é, geralmente, reaproveitada, chegando-se a obter um alto índice de recuperação (98%). A moldagem pode ser realizada tanto manualmente como também mecanizada. A moldagem mecânica é empregada nas fundições modernas para produção seriada (CHIAVERINI, 1986).

3.5 Etapas do processo em areia verde

A modelagem em areia verde deve seguir algumas etapas até o vazamento do metal. Primeiro, o modelo é colocado sobre um estrado de madeira no qual a caixa de moldagem inferior é posicionada; em seguida, preenche-se o interior da caixa com a areia que será compactada de encontro ao modelo até preencher a caixa, visto na figura 2; a compactação pode ser realizada manualmente ou empregando um martetele pneumático (CHIAVERINI, 1986).

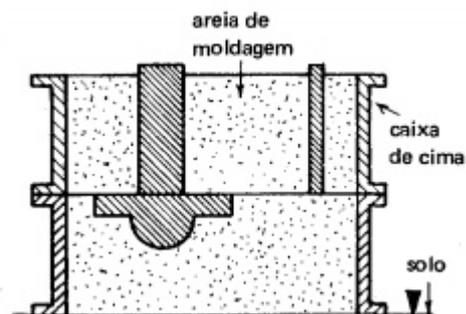
Figura 2 – Etapa de compactação da areia



Fonte: Chiaverini (1986)

Em seguida, vira-se a caixa de baixo e retira-se a estrado de madeira; coloca-se a caixa de moldagem superior, insere os canais alimentadores e o canal de vazamento; coloca-se a areia e realiza-se a sua compactação, conforme pode ser visto na figura 3 (CHIAVERINI, 1986).

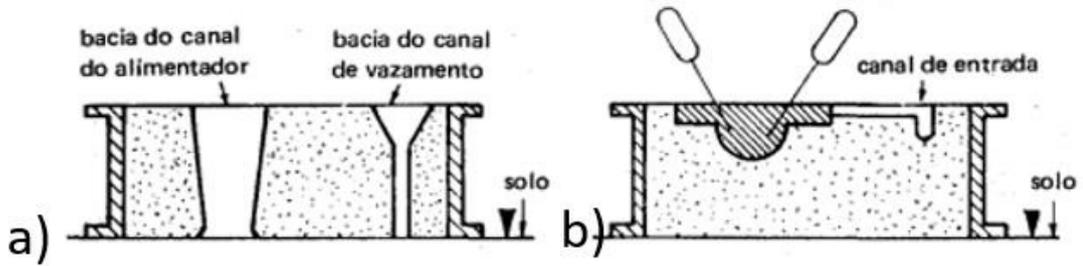
Figura 3 – Canais de alimentação na caixa superior



Fonte: Chiaverini (1986)

Posteriormente, retiram-se os modelos dos canais; separa-se as caixas e procede-se à abertura das bacias do alimentador e do canal de vazamento na caixa de cima; já na caixa de baixo, procede-se à abertura do canal de entrada e retira-se o modelo da peça, visto na figura 4 (CHIAVERINI, 1986).

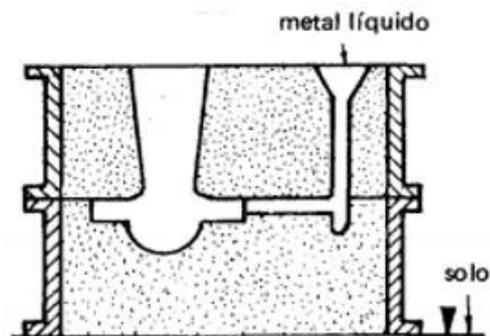
Figura 4 – Remoção dos modelos dos canais (a) e a abertura do canal de entrada (b)



Fonte: Chiaverini (1986)

Por fim, fecha-se a caixa de moldagem, colocando as duas uma sobre a outra e mantendo-as presas por presilhas, realiza-se o vazamento do metal líquido e, posteriormente ao resfriamento, desmolda-se e corta os canais, resultando a peça fundida (CHIAVERINI, 1986).

Figura 5 – Posicionamento para o vazamento do metal



Fonte: Chiaverini (1986)

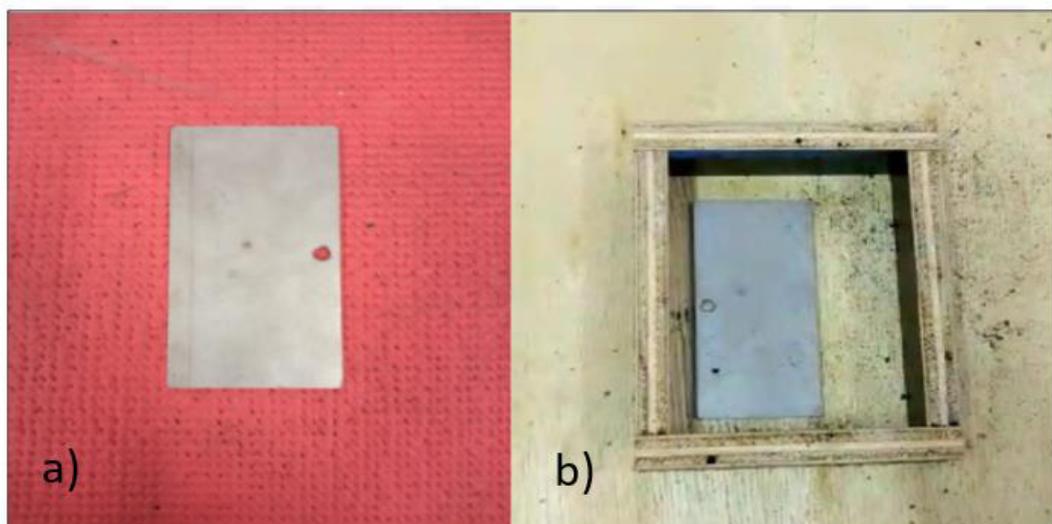
4 METODOLOGIA

Esta seção tem como objetivo apresentar os materiais e métodos utilizados na preparação da peça fundida de zinco por modelagem em areia verde, desde a preparação da areia até o acabamento da peça fundida. Ao longo do procedimento, foram alteradas algumas variáveis do processo, como o tempo de secagem e o formato dos canais para aperfeiçoamento e melhoria do processo.

4.1 Modelo utilizado

Para confecção do modelo, foram utilizados três tipos de modelos, a própria peça de zinco, um feito de alumínio e um de madeira. Na figura 6.a pode ser visto a peça que deve ser produzida neste trabalho.

Figura 6 – Peça modelo (a) posicionada na caixa inferior (b)



Fonte: Próprio autor (2021)

4.2 Confecção do molde em areia verde

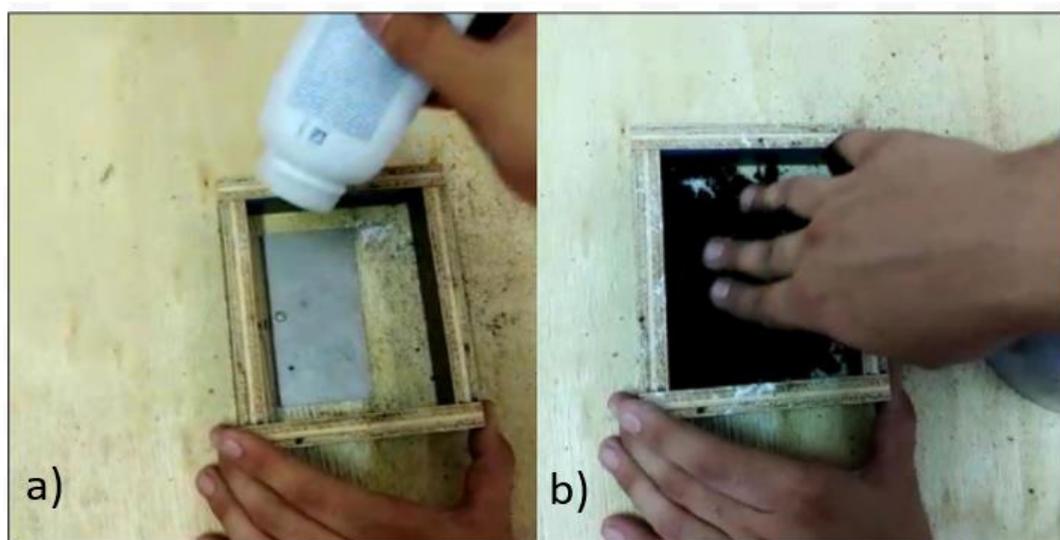
A primeira etapa foi a preparação da areia verde. Foi utilizada uma proporção de 97%wt de areia verde com 3%wt de água. A areia foi peneirada de acordo com a granulometria adequada e, logo em seguida, foi adicionada água na areia aos poucos. Os materiais foram

misturados em um recipiente até alcançar as propriedades desejáveis, como uma boa aglomeração e homogeneidade.

O processo de preparação do molde inicia-se ao colocar a caixa inferior sobre uma superfície plana (uma placa de madeira). Em seguida, o modelo é posto dentro da caixa de modo que não entre em contato com as paredes da caixa inferior de modo a evitar o contato do metal líquido com as paredes do modelo, mas também para que deixe o espaço suficiente para o canal de vazamento. A figura 6.b mostra um exemplo do posicionamento adequado.

Posteriormente, aplica-se o desmoldante – talco, sobre a superfície da peça para facilitar sua remoção e se inicia a compactação manualmente da areia sobre a peça, utilizando uma pressão moderada para contornar todo o modelo, porém sem movê-lo de lugar. O resto da caixa é completada com areia verde de modo a ficar toda compactada, sem espaços vazios ou algum desnível. Conforme pode ser visto na figura 7.

Figura 7 – Aplicação do desmoldante (a) e compactação da areia (b)



Fonte: Próprio autor (2021)

Com toda a compactação da areia na caixa inferior, deve-se virá-la cuidadosamente de modo que o modelo fique voltado com a face para cima e então a caixa superior é adicionada e novamente é inserida a areia verde, conforme visto na figura 8. Nesta etapa, utiliza-se uma pressão um pouco mais leve em comparação a etapa anterior para evitar que se danifique a camada de baixo. Durante a confecção da parte superior, é necessário criar o canal de vazamento e os canais para saída dos gases. Essa etapa pode ser realizada após todo o preenchimento da

caixa com a areia verde ou ao mesmo tempo em que se realiza a compactação da areia. A metodologia utilizada neste trabalho foi a primeira devido a maior praticidade.

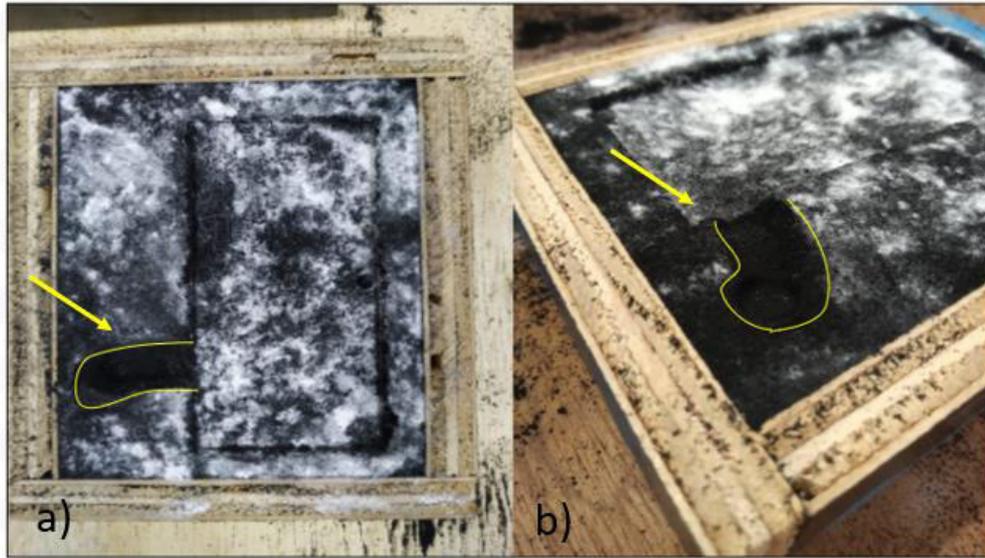
Figura 8 – Posicionamento da caixa superior



Fonte: Próprio autor (2021)

Para preparação dos canais de vazamento, foram utilizados corpos cilíndricos, partindo de uma circunferência menor até a desejada para não quebrar a integridade do molde. No canal de vazamento do metal, foi inserido um pincel, depois um bastão de vidro e em seguida um parafuso, fazendo com que o canal atravessasse toda parte superior e chegasse até metade da caixa inferior. Logo em seguida, foi realizado um caminho do canal de entrada até a superfície da peça a fim de que o metal líquido possa percorrer até chegar na cavidade do molde, conforme pode ser visto na figura 9.

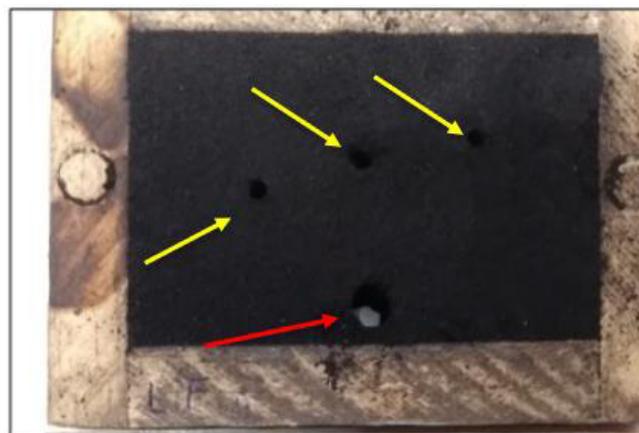
Figura 9 – Canal de entrada do metal criado na caixa inferior



Fonte: Próprio autor (2021)

Já para o canal de vazamento de gases, foram utilizados diferentes corpos cilíndricos com tamanhos diferentes para identificar a sua influência, realizando de três a seis canais, conforme pode ser visto na figura 10.

Figura 10 – Canais de saída dos gases (seta amarela) e vazamento (seta vermelha)



Fonte: Próprio autor (2021)

Após a criação dos canais e a remoção da peça modelo, é preciso deixar o molde secando para a remoção da umidade da areia. Para isso, o molde foi exposto a luz solar durante diversos intervalos de tempo entre 2 e 6 horas e permanecendo em repouso dentro do laboratório em cima de uma placa de madeira, em alguns casos, durante até mais de 24 horas. Esta etapa

pode ser considerada uma das mais importantes do processo, uma vez que o tempo de secagem da areia é o que influenciará nas condições adequadas do molde em areia. Essa secagem também pode ser realizada dentro de estufas, o que torna o processo mais caro.

4.3 Fusão do zinco, preparação do vazamento e usinagem da peça

Para fundição do metal, foram utilizadas entre 500 e 600 gramas de zinco puro em um forno mufla e um cadinho de grafita (visto na figura 11), realizando um aquecimento até 520°C, e deixando a essa temperatura por um período de 50 minutos.

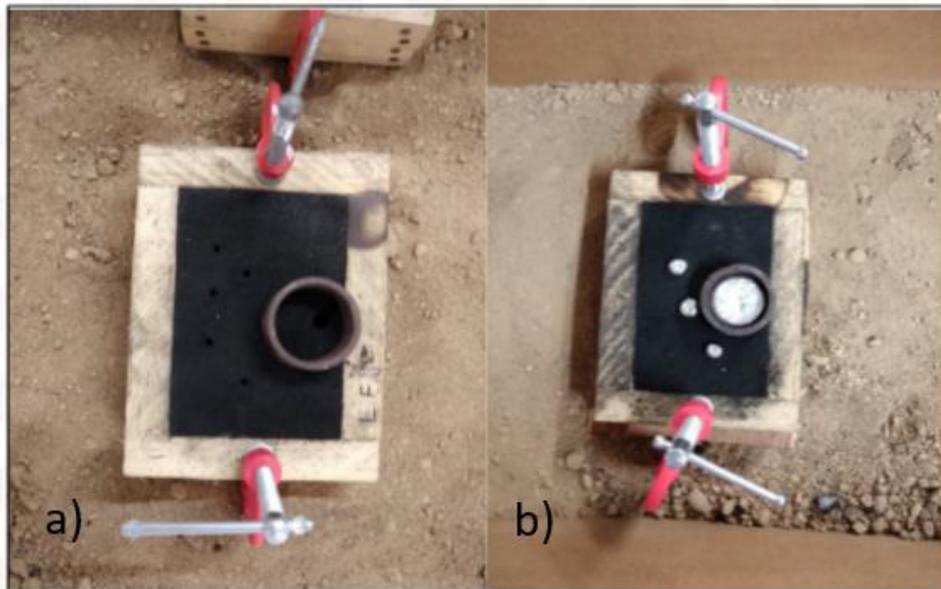
Figura 11 – Cadinho de grafita (a) e forno mufla (b)



Fonte: Próprio autor (2021)

A preparação do vazamento foi realizada dentro de um caixote de areia. Primeiro as duas caixas foram fixadas uma na outra com duas presilhas e inseridas dentro do caixote de areia, conforme pode ser visto na figura 12.a. Logo em seguida, com o auxílio de um nível, o molde foi nivelado para que o vazamento acontecesse de maneira uniforme. Para facilitar o vazamento, uma peça metálica com o formato de anel foi utilizada de modo que o metal não escoasse para fora do molde durante o despejamento do metal líquido. Com a preparação finalizada o metal foi vazado, visto na figura 12.b.

Figura 12 – Molde posicionado na caixa de areia (a) e o molde após o vazamento (b)



Fonte: Próprio autor (2021)

Após o resfriamento do metal, o modelo de areia foi desfeito e a peça fundida foi retirada e levada para usinagem para remover o massalote, os canais dos gases e as imperfeições apresentadas. Esse processo foi realizado com uma escova de aço rotativa e uma ferramenta de micro retífica. Por fim, esta metodologia foi repetida várias vezes para produzir as 24 peças de zinco.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a replicação do procedimento anterior por inúmeras vezes, foi possível quantificar alguns dos parâmetros para as variáveis e identificar os defeitos e qualidades das peças que serão analisados nesta seção, começando pelas peças que apresentaram maiores defeitos até chegar nas de maior qualidade.

5.1 Avaliação superficial

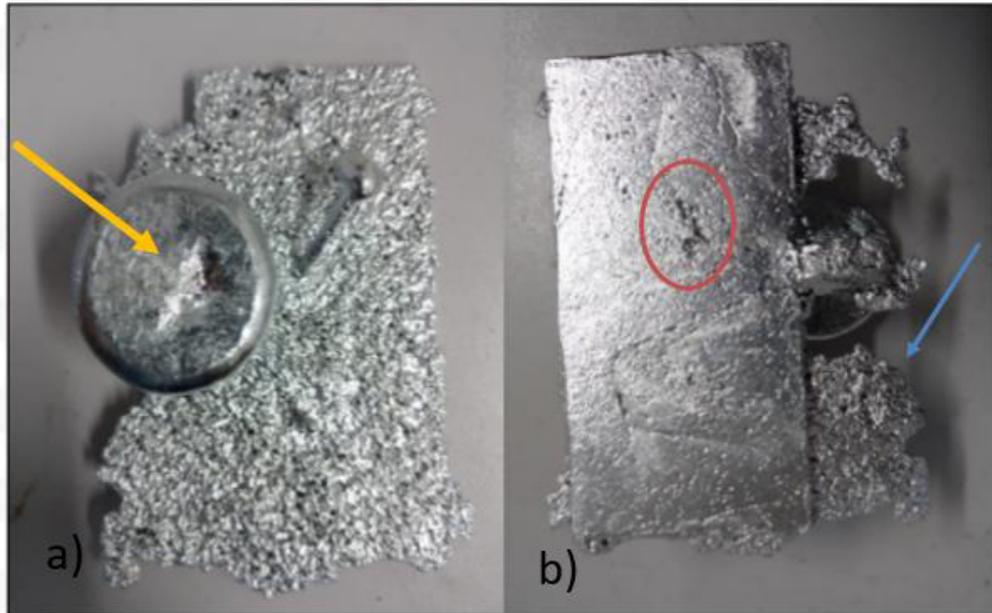
Será realizada uma análise superficial das peças, esta análise leva em conta a rugosidade, a porosidade e o acabamento. Ela é realizada com uma inspeção visual da superfície do fundido buscando correlacionar seus defeitos com os parâmetros escolhidos durante o processo.

5.1.1 Análise da peça 01

Na análise da primeira peça, foi possível identificar diversos defeitos como a superfície superior com um aspecto bastante rugoso e uma protuberância do metal, também chamada de rebarba, que excedeu a cavidade do molde. O controle da umidade da areia é um aspecto que pode ter influenciado neste resultado. Uma umidade elevada pode aumentar o número de gases formados durante o vazamento o que pode aumentar a porosidade e a rugosidade no fundido. Dito isso, uma das causas desse aspecto rugoso pode ser as bolhas de gases formadas durante o vazamento. Essas bolhas podem surgir devido a inúmeros fatores, como excesso de água livre, permeabilidade inadequada e excessivo teor de voláteis, ou seja, está direta e indiretamente relacionada com a umidade do molde.

Diante do exposto acima, uma das variáveis do processo que afetam a umidade é o tempo de secagem; esse molde foi preparado com um tempo de secagem de mais 24 horas, dentre as quais somente por duas horas ele fora exposto ao sol para favorecer a remoção da umidade do molde. Três peças foram fabricadas seguindo este tempo de secagem e todas apresentaram um aspecto bastante similar. Devido a isso, levantou-se a hipótese de que este tempo de exposição ao sol não foi suficiente para remover toda a umidade necessária, gerando, portanto, um número elevado de gases que não conseguiram se desprender durante o vazamento de modo que gerou esse aspecto rugoso visto na figura 13.a.

Figura 13 – Superfície superior (a) e inferior (b) da peça número 01



Fonte: Próprio autor (2021)

Em relação ao segundo defeito, deve-se destacar a importância das presilhas que fixam as caixas do molde bipartido, pois o fato das caixas não estarem totalmente presas uma na outra, junto com a alta fluidez do zinco puro, acabou ocasionando que o metal vazado transbordasse pelas laterais, gerando uma rebarba, que acaba dificultando o processo de usinagem, tornando o processo mais caro. Esse excesso pode ser visto com a seta azul indicada na figura 13.b.

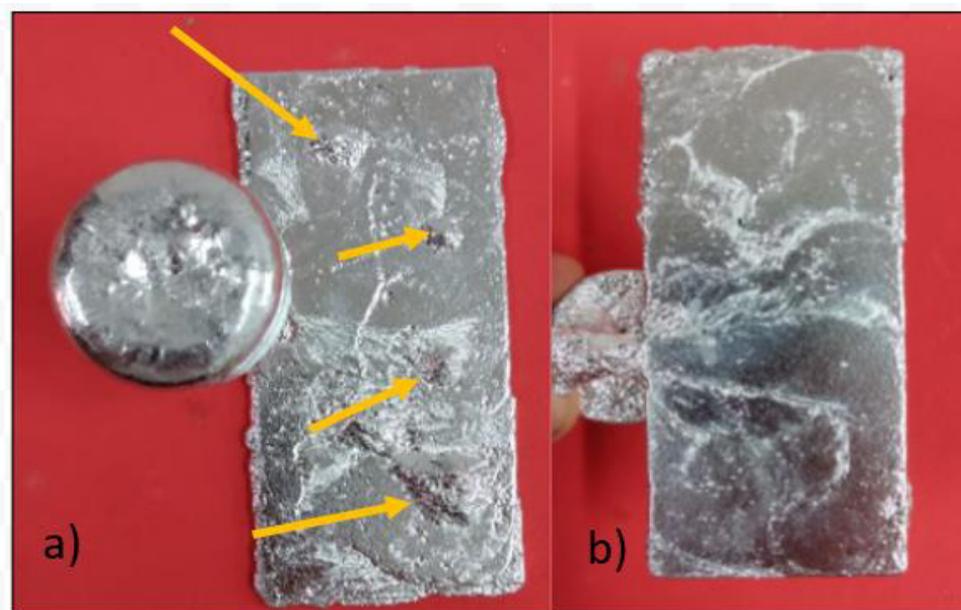
Além disso, outro fator importante é a compactação da areia durante a preparação do molde. Uma areia pouco compactada gera um molde com uma resistência pequena e ao entrar em contato com o metal, pode gerar a erosão ou desprendimento de parte da areia, tornando a peça porosa ou até mesmo gerar inclusões na estrutura metálica, conforme pode ser observado no defeito identificado pelo círculo laranja na figura 13.b.

Embora a peça tenha apresentado inúmeros defeitos, é importante destacar o rechupe, identificado pela seta amarela da figura 13.a, presente no massalote, que compensou toda a contração volumétrica durante a solidificação, o que é essencial, pois um massalote mal dimensionado irá causar um vazio de contração na peça. Cita-se também que a superfície inferior apresentou um aspecto com pouca rugosidade bastante similar ao desejado.

5.1.2 Análise da peça 02

Em relação a peça número dois, é possível identificar uma melhora na rugosidade da parte superior. Um dos parâmetros alterados foi o tempo de secagem, que durou menos de 24 horas, sendo que o molde ficou exposto ao sol por um período entre 3 a 4 horas. Foram confeccionadas sete peças com esse método de secagem, apresentando bem menos rugosidade em comparação com a peça 01.

Figura 14 – Superfície superior (a) e inferior (b) da peça número 02



Fonte: Próprio autor (2021)

No acabamento da peça, é possível identificar alguns defeitos presentes na superfície de cada lado. Na figura 14.a, os defeitos, indicados pelas setas laranjas, são as regiões onde estavam presentes os canais de vazamentos dos gases em que concentrou uma grande quantidade de zinco o que dificultou o processo de acabamento da peça, tornando a elaboração de cada peça mais demorado. Esse excesso de zinco concentrado ao redor dos canais ocorreu por causa do tamanho elevado dos diâmetros dos canais.

Além disso, é possível identificar que toda a cavidade do molde foi preenchida por completo, isso se deve a temperatura do zinco que estava aproximadamente 100°C acima da sua temperatura de fusão, não coexistindo as fases sólido-líquido, o que auxilia a sua fluidez durante o vazamento. Outro fator a se destacar é que para que não ocorra nenhuma obstrução

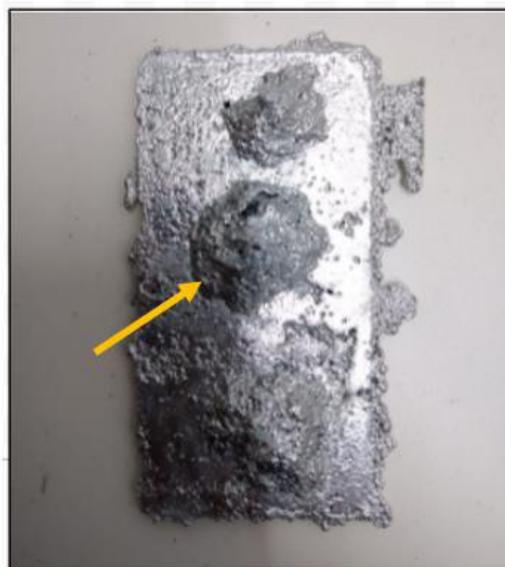
do canal deve se realizar o vazamento do metal de maneira uniforme e contínua, o que pode ser bem difícil quando realizado manualmente.

5.1.3 Análise da peça 03

Na peça número três, é possível destacar a importância do diâmetro dos canais de vazamento dos gases, pois embora que sua função seja evitar com que os gases oriundos do processo fiquem presos, há um limite para esse benefício. Durante a confecção desta peça, esses canais foram feitos com diâmetros maiores a fim de se evitar qualquer tipo de rugosidade oriunda dos gases, porém é notório que essa mudança trouxe mais defeitos ao fundido.

Com o maior diâmetro do canal, mais o metal se direcionou para essas regiões de modo que gerou esse acúmulo de zinco, tornando esta região bastante turbulenta durante o vazamento. Cita-se também que as regiões mais distantes dos canais continuaram apresentando um aspecto indesejável, ou seja, com o aumento excessivo do canal para saída de gases o aspecto com porosidade não foi reduzido, bem como também aumentou o tempo de realização do acabamento, confirmando que o aumento excessivo do diâmetro traz mais malefícios que benefícios. As figuras 15 e 16 mostram o aspecto de uma das peças produzidas com canais para saída de gases com diâmetros excessivos.

Figura 15 – Superfície superior da peça 03



Fonte: Próprio autor (2021)

Figura 16 – Vista lateral da peça número 03



Fonte: Próprio autor (2021)

5.1.4 Análise da peça 04

A peça número quatro foi uma das que apresentou o melhor resultado durante o processo. Primeiramente, deve-se destacar o efeito do canal de vazamento do metal. Uma das modificações utilizadas para melhorar a turbulência e para evitar a erosão do molde de areia foi a utilização de um canal com o seu final em um nível mais baixo do que a cavidade do molde (visto na figura 17). Com essa alteração toda a turbulência e o impacto não aconteceram diretamente na cavidade e, além disso, o zinco pode seguir de forma uniforme até a região da cavidade.

Figura 17 – Canal de entrada da peça número 4

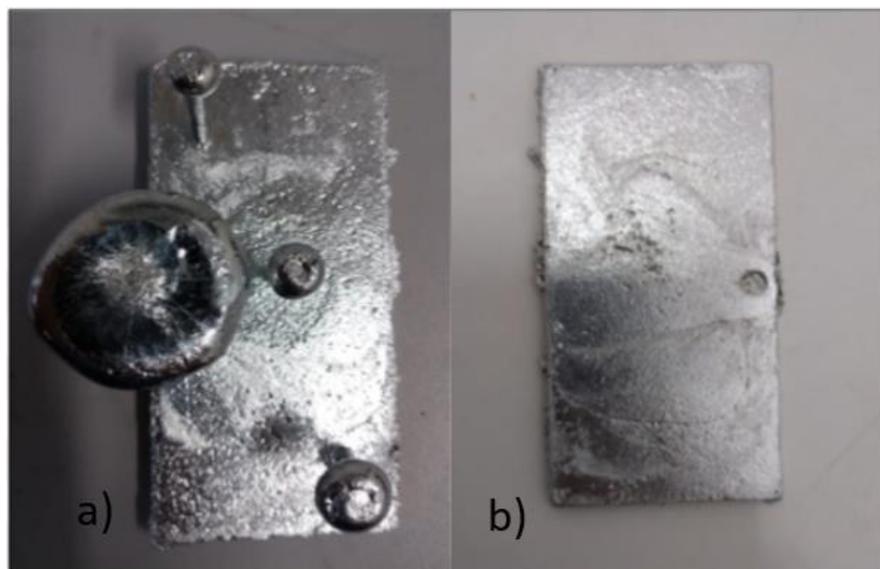


Fonte: Próprio autor (2021)

Durante o trabalho, já tinha sido reduzido o tempo de preparação de secagem para menos de 24 h. Porém, para esta peça, o tempo mais uma vez foi reduzido. Desta vez, somente foram utilizadas 4 horas de exposição ao sol, realizando a produção do molde e o vazamento no mesmo dia. O que aumentou a produtividade da produção dentro do laboratório. Ao todo, mais de 10 peças foram produzidas seguindo essa alteração de parâmetro e todas apresentam um aspecto bem próximo ao da peça desejada.

Além disso, os testes na peça de número quatro validaram a importância dos canais de saída dos gases exposto na seção anterior. Nesta peça, foram utilizados somente três canais com diâmetros pequenos e após o vazamento não apresentaram os mesmos defeitos que antes, além disso o seu tamanho favoreceu as etapas de acabamento posterior. Por fim, destaca-se que embora a peça apresente alguns defeitos oriundos do processo, ela conseguiu reproduzir perfeitamente o formato desejado (considerando que todo o processo foi realizado manualmente) sem passar por grandes processos de usinagem posteriores. Na figura 18 é possível observar a peça número 4.

Figura 18 – Superfície superior (a) e inferior (b) da peça número 4



Fonte: Próprio autor (2021)

6 CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi o aprimoramento do processo de fundição por areia verde, buscando padronizar os parâmetros. Apesar da dificuldade de se controlar os parâmetros, foi possível mensurar alguns deles para se obter uma boa qualidade na peça, como o tempo de secagem, que foi reduzido de mais de 24 horas para 4 horas de exposição ao sol.

Além disso, a peça produzida sofreu pouca variação dimensional, ainda que toda a confecção tenha sido realizada manualmente, o que mostra que esse processo pode ser utilizado em projetos em que se exija uma tolerância dimensional. Cita-se também que os canais de vazamento dos gases não devem ser produzidos com diâmetros muito grandes, pois poderá causar um aspecto rugoso ao redor dos canais, bem como irá aumentar o trabalho de usinagem após a fundição. Em relação aos modelos utilizados, a peça de zinco foi a que apresentou o melhor desempenho, pois sua fácil remoção da cavidade do molde reduziu a erosão das paredes do molde, e assim, conseqüentemente, reduzia o retrabalho na produção do molde.

Por fim, foi possível obter um resultado satisfatório, uma vez que a peça final apresentou uma aparência bastante similar a desejada e foi possível reproduzi-la novamente mantendo a metodologia de produção.

REFERÊNCIAS

BALDAM, Roquemar, VIEIRA, Estefano **Fundição: Processos e tecnologia correlatas**; São Paulo: Érica, 2014, 384 p.

CHIAVERINI, V, 1914 – **Tecnologia mecânica: Processos de Fabricação e Tratamento**; São Paulo: McGraw-Hill, 1986, 315 p.

COLPAERT, Hubertus. **Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns**. São Paulo: Edgard Blucher, 2008.

GARCIA, Amauri. **Solidificação: fundamentos e aplicações**. Campinas, SP: UNICAMP, 2007. 399 p.

GROOVER, Mikell P. **Introdução ao processo de fabricação**; 1. Ed – Rio de Janeiro; LTC, 2014, 737 p.

KIMINAMI, Claudio; CASTRO, Walman; OLIVEIRA, Marcelo. **Introdução aos processos de fabricação de produtos metálicos**; São Paulo :Blucher, 2013, 235p.

KLUG, Jeferson Leandro. **Notas de aula**. UFC, 2021.

MARQUES, Andreia Isabel Granadeiro Cercas. **Diagnóstico de um defeito de fundição Aplicabilidade da simulação numérica em FLOWCast para previsão e resolução de defeitos**. 2008. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2008.

MÜLLER, Arno. **Solidificação e análise térmica dos metais**. Porto Alegre, RS: Editora da UFRGS, 2002. 278 p.

TÂMEGA, Fábio; **Fundição de processos siderúrgicos**; Londrina: Editora e Distribuidora S.A, 2017, 200 p.

WEISS, Almiro: **Processos de fabricação mecânica**; Curitiba: livro técnico, 2012, 264p.