

PROCESSAMENTO DE FUNDIÇÃO EM MOLDE CHEIO: UM EXPERIMENTO EM LABORATÓRIO ACADÊMICO

Chrislla Stéphanie Amorim Mendes

Discente do curso de Engenharia Mecânica – UNINORTE

E-mail: chrislla.amorim@hotmail.com

Telefone: (92) 99349-1368

Naiandra Mota Lima

Discente do curso de Engenharia Mecânica – UNINORTE

E-mail: naiandra.mota1997@gmail.com

Telefone: (92) 98183-5202

RESUMO

A fundição é um processo de fabricação amplamente usado devido a sua flexibilidade na criação de objetos com formas simples ou complexas. Devido à alta frequência de uso do processo é muito comum a busca por novos métodos que venham melhorar a qualidade dos produtos fundidos. Este trabalho possui o objetivo de fabricar uma peça metálica por meio da técnica de molde cheio com incremento de areia do Rio Amazonas ao processo de fundição, para isso também se estabeleceu certos objetivos específicos, os quais são: examinar a qualidade superficial da peça fabricada, verificar a ocorrência de defeitos de fundição e realizar apuração de mudanças nas dimensões da peça fundida. Este trabalho se justifica pelo o fato de a utilização dos métodos adotados se mostrarem uma opção mais barata para realização do processo devido ao barateamento de sua obtenção e retirada de qualquer espécie de aglomerante e ligante. Como metodologia para o alcance dos objetivos utilizou-se a liga de alumínio naval 5052 e a areia do Rio Amazonas, que recebeu somente água para auxiliar a aglomeração dos grãos. Desta forma, o estudo se caracteriza como uma pesquisa experimental por buscar analisar os efeitos do uso de uma qualidade de areia não usual ao processo de molde cheio. Os passos da técnica usada podem ser resumidos como: confecção do molde (moldagem), através de compactação manual; fusão do metal e vazamento por gravidade no molde, seguido da degradação do poliestireno expandido em seu interior e ocupação do metal na cavidade deixada pelo o modelo. Como resultado foi possível a obtenção de uma peça, porém com acabamento não satisfatório, houve problemas com descontinuidades como bolhas e porosidade na superfície da peça. Também ocorreram variações em relação às dimensões da peça fundida, quando comparada às medidas do modelo de poliestireno expandido utilizado. Desta forma se chegou a certas conclusões de que com a utilização da técnica de molde cheio e incremento de areia do Rio Amazonas ao processo possibilitaram a fabricação de uma peça metálica, porém houve certas descontinuidades que apareceram na peça fabricada. Além disto, ao fim do trabalho pôde-se ver que a peça apresentou variações dimensionais, entretanto isto foi causado devido à liga de alumínio utilizada, pois a mesma possui um alto valor de contração e o processo de fundição é bastante propício para que haja fenômenos de contração.

Palavras-chaves: Fundição, Areia, Rio Amazonas, Liga de Alumínio.

ABSTRACT

Casting is a widely used manufacturing process because of its flexibility in creating objects with simple or complex shapes. Due to the high frequency of use of the process, it is very common to search for new methods that will improve the quality of the products. This work has the objective of making a metal part by means of the mold technique filled with sand increment of the Amazon River to the casting process. For this purpose we have also established certain specific objectives, which are: to examine the surface quality of the manufactured part, verify the occurrence of casting defects and verify changes in the size of the casting. This work is justified by the fact that the use of the adopted methods prove to be a cheaper option to carry out the process due to the lowering of its obtainment and withdrawal of any kind of binder and binder. As a methodology for reaching the objectives, the naval aluminum alloy 5052 and the Amazon River sand were used, which received only water to aid

the agglomeration of the grains. In this way, the study is characterized as an experimental research for seeking to analyze the effects of the use of an unusual sand quality to the full mold process. The steps of the technique used can be summarized as: mold making (molding), through manual compaction; metal melting and gravity casting in the mold, followed by degradation of the expanded polystyrene in the interior and occupation of the metal in the cavity left by the model. As a result it was possible to obtain a piece, but with an unsatisfactory finish, there were problems with discontinuities such as bubbles and porosity on the workpiece surface. There were also variations in the dimensions of the cast, when compared to the measurements of the expanded polystyrene model used. In this way, we reached certain conclusions that with the use of the technique of full mold and sand increment of the Amazon River to the process made possible the manufacture of a metal part, however there were certain discontinuities that appeared in the fabricated part. In addition, at the end of the work it was possible to see that the piece presented dimensional variations, however this was caused due to the aluminum alloy used, because it has a high contraction value and the casting process is quite conducive to phenomena of contraction.

Keywords: Foundry, Sand, Amazon River, Aluminum Alloy.

1. INTRODUÇÃO

A utilização do processo de fundição para fabricação de diversos objetos data um longo tempo atrás, Silva (2017) aponta que o cobre já era modelado através do auxílio de moldes de areia na Mesopotâmia a cerca de 4000 a.C. Contudo esta técnica ganhou vários aperfeiçoamentos com o passar do tempo, onde percebe-se o uso de novos processos que modificaram elementos tais como tipo de areia, a sequência de passos do processo, o tipo de molde e entre outros que implicam no produto final.

Cada uma das técnicas de fundição (fundição por gravidade, fundição por pressão e etc.) possuem resultados únicos, desta maneira a fabricação de cada peça por um dos métodos de fundição leva em conta as características finais desejadas para que o produto do processo de fundição tenha um excelente desempenho durante seu uso. Dependendo do método adotado o produto fundido pode ter valores que podem ser significativos quanto à dureza, ductilidade, tenacidade, fragilidade e etc.

No Quadro 1 apresentam-se uma classificação de fundição em função das características que diferem cada um dos processos e ao aporte de tecnologia na fabricação das peças.

Quadro 1 - Principais processos de moldagem.

GRUPO	PROCESSO	MODELO	MOLDE	LIGAS
modelo e molde perecíveis	microfusão	cera ou plástico	pasta cerâmica	quaisquer
	molde cheio	poliestireno	areia fluida	quaisquer
modelo não-perecível; molde perecível	areia-verde silicato areia-resina shell	metálico (shell); madeira, epóxi ou metálico (para os demais)	areia + aglomerantes + aditivos + água (opcional)	quaisquer
modelo não-perecível; molde semi-permanente	grafite gesso borracha	madeira ou epóxi	grafite gesso borracha	ligas não-ferrosas
molde permanente	molde permanente	dispensável	metal (coquilha)	quaisquer, menos aço
	centrifugação	não existe	metálico	quaisquer
	sob-pressão	dispensável	metal (matriz)	Zn, Al e Mg

Fonte: Fundamentals of Metal Casting (adaptado).

Dentre os processos mostrados anteriormente, este trabalho propõe o uso da técnica pertencente ao grupo de modelo e molde perecíveis, de forma mais específica, o estudo tratará do processo de molde cheio.

Como mostrado no Quadro 1, pode-se dizer que nos dias atuais há uma variedade de processos disponíveis, todos voltados para

fins específicos devido a sua singularidade de resultados, entretanto pode-se destacar um dos processos de fundição: o uso do método conhecido como molde cheio. Em que Martins (2003) ressalta que o mesmo possui um custo de obtenção da peça inferior em comparação a outros processos, além do fator ecológico que engloba a baixa geração de resíduos. Além disso, nos processos de fabricação, a fundição se destaca por produzir peças com grande variedade de formas, tamanhos e estas de extrema responsabilidade como as que se destinam à indústria aeronáutica e aeroespacial segundo Soares (2000).

A revista Aranda Editora (2006) expõe a importância do processo de fundição em molde cheio em uma de suas edições. A revista comenta que a técnica ultimamente vem passando por uma variedade de inovações para que possa ser aplicada em um maior número de materiais, também expõe o fato de ter ocorrido certo progresso na propagação de conhecimento do processo na área de fundição. Algo importante apresentado na matéria envolveu a abstenção de poluição ambiental que o processo traz consigo, desta forma pode-se ver a relevância para levantamentos de estudo na área de fundição com uso da técnica de molde cheio.

Por possuir como seu diferencial o descarte de qualquer tipo de ligantes durante o processo, o método se põe como uma ótima alternativa para reutilização da areia em processos posteriores causando corte de gastos. Outro fato relevante é a possibilidade da compactação da areia do molde ser feita manualmente, há processos que exigem de uma compactação mecanizada onde é necessário a utilização de equipamentos e máquinas próprias ao processo, entretanto pode-se dizer que com isto poderá haver uma redução de tempo na compactação mas será necessário um investimento financeiro o que pode chegar a ser bastante elevado dependendo do equipamento que se pretende obter.

Ao referir-se à técnica, Martins (2003) menciona que é um processo semelhante ao de areia verde, porém, se diferencia do método anterior devido ao descarte do uso

de ligantes na areia e ao uso do poliestireno como modelo. Em outro ponto Martins (2003) ainda resume o processo como o derramamento do metal procedido pela degradação do poliestireno, e com isso o metal ocupa perfeitamente toda a cavidade deixada. Pode-se dizer que o molde cheio é bastante flexível quanto ao desenho e detalhes da peça desejados, isto se deve à livre elaboração de formas através do poliestireno expandido.

O molde cheio também está sujeito a diversos defeitos assim como outros processos de fundição, Silva (2017) aponta-os como: rebarbas, rechupes, porosidade, trincas, alimentação insuficiente e etc. Onde as falhas podem ser aparentes ou não na peça. No entanto, eles podem ser evitados por meio do reconhecimento e controle das variáveis que os causam.

O molde cheio, como já mencionado, faz uso de molde perecível, isto quer dizer que logo após o processo de fundição ser finalizado haverá destruição do molde usado. Os moldes do tipo destrutíveis são em grande maioria constituídos de areia, e pelo fato de a técnica usada descartar a utilização de elementos adicionais na areia para o processo e assim baratear o processo, buscou-se de um tipo de areia não usual e que mesmo assim colaborasse com a integridade das características do processo de molde cheio.

Tomando em consideração as características exigidas pelo processo adotado, durante a construção do molde foi usado a areia do rio Amazonas misturada com água, areia constituída em uma porção maior de silte, alguns testes foram realizados por Silva et al. (2017) para fabricação de hélices (alumínio e bronze) para embarcações regionais. Vale ressaltar que este novo tipo de areia contribui para a redução de custos na fabricação, por excluir qualquer adição de produtos químicos tais como aglomerantes ou ligantes durante a preparação da areia para a construção do molde.

A economia que o uso da nova areia pode proporcionar deve ser levada em conta, pois a maioria dos processos de fundição exige um montante demasiado de areia para concretização do processo, e após a finalização do processo uma parte considerável desta areia é descartada no meio ambiente. Porém é importante comentar que devido aos componentes químicos utilizados isto contribui para o crescimento de certas incertezas do grau de periculosidade à saúde humana. Além do mais, por motivo da composição da mistura de areia há uma limitação em relação à reutilização, e também os locais para descarte da areia se tornam bastante limitados, como já foi mencionado, pois podem se apresentar nocivos às pessoas que entram em contato. A problemática apresentada não passaria a ocorrer com o emprego da areia do Rio Amazonas, pois esta não necessita da aplicação de misturas adicionais, sua composição em estado natural já proporciona uma ótima aglomeração entre os grãos. Desta forma seria possível a reutilização da areia em outros processos de fundição e até mesmo em outras atividades onde há utilização de areia, e o descarte da areia seria mais flexível e menos burocrático.

Na fundição os moldes desempenham um papel muito importante, pois dependendo de seu desempenho o produto final pode ser considerado bom ou ruim. O estudo de Chiaverini (1986) mostra que o molde é construído dentro de um recipiente, chamado caixa de moldagem, que deve ser constituído de um material rígido o suficiente para resistir o socamento da areia durante a moldagem e o vazamento do metal líquido. A caixa de moldagem é constituída basicamente de duas partes que são caixa superior e inferior, onde o modelo é inserido em seu interior no momento em que ocorre a modelagem da areia.

De acordo com Chiaverini (1986) na moldagem com areia, o molde deve preencher certos requisitos sem os quais o

processo de fundição não ocorre conforme esperado. Os requisitos que os moldes devem apresentar segundo Chiaverini (1986) são:

- Resistência para resistir à força aplicada pelo peso do metal líquido;
- Resistência à erosão durante o vazamento;
- Gerar a menor quantidade possível de gases e demonstrar facilidade na fuga dos gases.

Conforme Chiaverini (1986), a areia de fundição quando selecionada deve também apresentar certos aspectos para facilitar e proporcionar segurança durante a moldagem, tais como:

- Plasticidade e consistência;
- Moldabilidade;
- Dureza;
- Resistência e refratariedade.

Estas características citadas são as principais para que o procedimento de fundição aconteça da forma esperada, os produtos fundidos podem apresentar certa peculiaridade quando estas não estão devidamente dimensionadas. Por este motivo é essencial o cuidado na seleção da areia mais adequada para o projeto.

Diante dos fatos surge certas incertezas a cerca de novos materiais que podem vir a constituir o molde e suas contribuições para a produção através do processo de fundição, deste modo com a proposta da aplicação de um novo material para construção do molde descrita neste trabalho, quais seriam os resultados encontrados após a implementação da técnica de molde cheio com o incremento da areia do Rio Amazonas na construção do molde no processo de fundição?

Em tal caso, como material para ser fundido o trabalho adotou uma liga de alumínio 5052, pois se trata de um alumínio naval, e pela região do Amazonas ter um alto fluxo de embarcações se viu uma oportunidade para futuras aplicações da técnica adotada neste trabalho para fabricação de equipamentos náuticos de pequenas dimensões. A liga para fundição utilizada neste trabalho é uma liga de alumínio e

magnésio em que o último elemento proporciona a conservação de uma alta ductilidade, excelente resistência à corrosão e boa solvabilidade de acordo com Infomet (s.d.).

Além do mais, o trabalho de Kolososki (2001) relata a tendência de crescimento de consumo de alumínio e suas ligas, este evento ocorre pelos aspectos físicos, químicos e mecânicos que o material apresenta. Segundo Kolososki (2001) o Brasil possui a terceira maior reserva de bauxita, e o país se encontra como décimo primeiro produtor de alumínio primário e terceiro produtor de bauxita conforme a associação Brasileira do Alumínio (ABAL).

Com base nos pontos mostrados, o alumínio é um ótimo material para ser tomado por estudo pela fundição. Pode-se até mesmo dizer que ele tem outras características que o tornam um material desejável para este ramo de fabricação, por exemplo, o alumínio tem baixo ponto de fusão se comparado a outros materiais como aço e ferro fundido e isso possibilita o emprego das ligas com base de carbono em diversos processos de fundição. Uma vez que existem processos tais como aqueles feitos em molde permanente que descartam o uso de material para ser fundido que tenha um ponto de fusão mais elevado que o material de constituição do molde (que na maioria das vezes é um aço).

1.1. Objetivo Geral

Fabricar uma peça metálica por meio da técnica de molde cheio com incremento de areia do Rio Amazonas ao processo de fundição. Para que pudessem ser observados os possíveis fenômenos que essa mudança desencadearia ao produto final fundido.

1.2. Objetivos Específicos

Examinar a qualidade superficial da peça fabricada para se chegar a uma conclusão de que o método adotado possibilitaria a fabricação de peças sem a presença de descontinuidades;

Verificar a ocorrência de defeitos de fundição, pois através da verificação destes defeitos, os quais insistem em ocorrer em

diversos processos de fundição, é possível considerar a qualidade superficial de uma peça;

Realizar apuração de mudanças nas dimensões da peça fundida. Mesmo que no processo de fundição ocorram constantemente mudanças dimensionais na peça, considerou-se importante a apurações de mudanças dimensionais pelas substituições de materiais realizadas com base no processo tradicional.

2. MATERIAL E MÉTODOS

1.3. Área ou Objeto de Estudo

A fundição é a área na qual este estudo está inserido, especificamente, na fundição que ocorre por meio da técnica chamada de molde cheio. É importante comentar que se almejou, por meio desta área, analisar uma engrenagem de dentes retos que foi fabricada mediante o processo de fundição, já citado, com o incremento da areia do Rio Amazonas ao processo.

Por meio do fato citado no parágrafo anterior, a pesquisa se caracteriza como uma pesquisa experimental. Gil (2000) introduz a pesquisa experimental como uma pesquisa onde a preocupação está na observação do fenômeno estudado e onde se procura estabelecer uma relação entre as variáveis em questão, todo o processo é feito dentro de um meio em que há controle sobre o evento. Sendo assim, o estudo em questão buscou estudar o fenômeno de fundição com a busca por qual tipo de intervenção poderia ocorrer na utilização de uma nova areia no processo de molde cheio, e por se tratar de uma pesquisa experimental todo o processo foi realizado em laboratório acadêmico para que houvesse domínio sobre todo o processo.

A natureza da pesquisa é qualitativa por estar ligada às análises realizadas na peça para verificação se esta apresentaria defeitos provindos do processo de fundição adotado. Uma vez que a pesquisa qualitativa se preocupa em analisar os dados de maneira subjetiva, levando em conta características que não se podem mensurar numericamente.

Como direção para a metodologia usada neste trabalho, a hipótese estabelecida compreende que com o uso da técnica foi

possível a fabricação de uma peça com resultados satisfatórios no que compreende o acabamento, dimensões e entre outras qualidades superficiais. Por consequência acaba sendo gerada certa esperança de uma futura fabricação de peças de acabamento superior através do aprimoramento do método.

1.4. Coleta de Dados

A coleta de dados se sucedeu com o uso dos métodos apresentados pela pesquisa experimental. Esta pesquisa tem suas particularidades conforme Gil (2000) por se tratar do estudo de um dado objeto observando-se o comportamento das variáveis e os efeitos que estas podem causar ao fenômeno, onde a avaliação destas variáveis é feita por meio de modificações controladas das mesmas. Desta maneira a presente pesquisa buscou alterar o material de construção do molde, optou-se por um tipo de areia não usual, para que posteriormente pudesse se chegar à conclusão dos efeitos dessa troca. Além do mais, por motivo de se usar a técnica do molde cheio, e por consequência ocorrer o uso de um modelo de poliestireno expandido, poderiam ocorrer maiores mudanças no produto final por motivo das peculiaridades que o poliestireno possui e ainda mais aliado às características da areia do Rio Amazonas.

A divisão dos procedimentos metodológicos utilizados é apresentada a seguir, de forma mais resumida e simples, a sequência de passos utilizados em laboratório foi dividida em duas partes.

- Fundição: etapa onde ocorreu o levantamento de todo o material necessário para que o processo de fundição ocorresse, a confecção do modelo de poliestireno expandido e a construção do molde para o vazamento, além do estabelecimento da temperatura que seria adotada para fusão do metal. As técnicas usadas para fusão e vazamento do material também são inclusos nesta etapa.
- Produto final: nesta etapa foram observadas e avaliadas as características de acabamento do produto final, com o intuito de comprovar a qualidade do produto final por meio de técnicas de

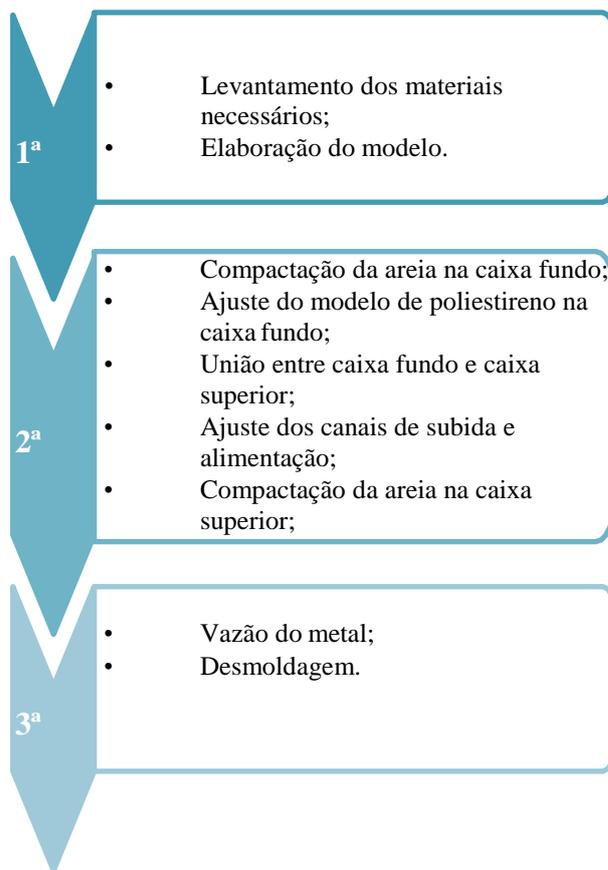
inspeção. Procurou-se por descontinuidades de fundição tais como rebarbas, porosidades, cavidades e entre outras. Também foi observado o comportamento da liga de alumínio adotada através da contração sofrida pela peça após a realização do processo de fundição.

2.2.1. Fundição

É a etapa de maior importância ao longo de todo o processo adotado neste trabalho, na verdade neste estágio está compreendida a base para futuras análises e conclusões. Pois através de um bom dimensionamento, combinação de materiais e técnicas usadas é possível desenvolver um bom produto de fundição.

Ao se falar de forma simplória e resumida pode-se dizer que a fundição da peça foi elaborada com os seguintes passos: compactação da areia e ajuste do modelo em seu interior; posicionamento dos modelos do macho, canal de alimentação e canal de subida (seguida da retirada dos mesmos); vazamento do metal e desmoldagem da peça. Na Figura 1 há uma representação simplificada dos passos seguidos.

Figura 1 - Esquema de produção da engrenagem por meio do processo de fundição por molde cheio.



A respeito das etapas descritas na Figura 1 é possível destrinchar cada uma delas para um melhor esclarecimento da técnica utilizada, conforme a seguir:

- Etapa 1

No momento de elaboração dessa etapa procuraram-se na internet e em bibliografias de relevância as características do processo de fundição. Pois se trata de um processo bastante antigo, mas que exige bastante cautela para ser realizado, mesmo quando se trata de métodos mais rústicos e menos mecanizáveis. As características do produto assim como seu desempenho tendem a estar entrelaçados ao projeto de fundição previamente estabelecido. Desta maneira foram estabelecidos os materiais básicos necessários e suas funções durante o processo, mais tarde procurou-se por um processo em que as exigências para realização se encaixasse dentro do montante de informações e materiais coletados.

Diante disto estabeleceu-se como processo de fundição o molde cheio o qual se buscou

também saber de forma demasiada, suas peculiaridades (pontos positivos e negativos), suas limitações de uso, flexibilidade de obtenção dos materiais necessários nos meios comerciais da região, facilidades do trabalho com o poliestireno expandido e etc. O modelo foi elaborado através de um tarugo de poliestireno expandido e com o auxílio de uma lixa 800 de granulometria fina. Depois de finalizada a forma, o modelo foi coberto com argamassa para que os detalhes das pérolas do poliestireno expandido não viessem ser reproduzidas no processo de fundição.

Nesta etapa também se estabeleceu o tipo de areia a ser usada, a areia do Rio Amazonas foi escolhida devido a ser um tipo de areia pouco usual nos processos de fundição e desta forma pôde se ver novas oportunidades para pesquisas sobre a sua empregabilidade e resultados.

- Etapa 2

Os procedimentos que aconteceram nessa etapa estão ligados basicamente à construção do molde. Primeiramente a areia foi misturada com uma pequena quantidade de água em temperatura ambiente, logo após essa mistura foi colocada na caixa fundo e socada manualmente até ficar totalmente comportada e preencher toda a caixa.

O segundo passo que ocorreu foi o ajuste do modelo de poliestireno expandido na caixa fundo. O modelo foi pressionado contra a caixa para que assim houvesse um melhor encaixe e ao mesmo tempo foi colocado um tarugo de metal para servir como macho no orifício da engrenagem e assim ser reproduzido fielmente este detalhe. Após estes procedimentos houve o encaixe entre a caixa fundo e a caixa superior (ainda sem adição de areia na caixa superior).

Na sequência houve os ajustes dos modelos dos canais, canal de alimentação (cavidade onde o metal será inicialmente derramado) e canal de subida (cavidade usada para que se possa saber quando o metal preencheu toda a cavidade que foi deixada pelo o poliestireno expandido durante sua decomposição, pois

este é o último lugar que o metal irá ter contato antes de aparecer na superfície).

Com a localização dos modelos dos canais estipulada foi derramada a mistura de areia na caixa superior e compactada manualmente da mesma maneira que foi feita na caixa inferior. Após o preenchimento total da caixa superior, os modelos dos canais foram retirados e assim ficou somente as cavidades para se realizar o processo de vazão.

- Etapa 3

Com a conclusão da construção do molde somente resta a etapa 3, a qual compreende os momentos finais da parte de fundição deste trabalho. A liga de alumínio foi fundida a 900 °C em um forno do tipo mufla. A temperatura foi estabelecida devido a certas variáveis que podiam interferir no processo tal como a solidificação do metal.

Com a fusão do metal concluída o próximo passo foi o vazamento. Houve o uso de roupas e equipamentos adequados para evitar qualquer acidente, foi realizado o vazamento em um cadinho agarrado a uma haste de ferro para se derramar o conteúdo do cadinho no canal de alimentação.

Com as descrições feitas é possível se ter uma noção das técnicas utilizadas ao longo do presente trabalho. Todavia a seguir são apresentadas imagens que demonstram os pontos mais relevantes das etapas relatadas na Figura 1 e assim simplificar ainda mais a metodologia usada.

Etapa em que a mistura da areia escolhida com água é colocada e compactada manualmente na caixa fundo (Figura 2). É também possível ver o nível de areia usada para que assim fosse concluído o preenchimento na caixa fundo e haver o encaixe do modelo de poliestireno acima do montante de areia.

Figura 2 - Compactação da areia na caixa fundo.



Com o término da compactação na caixa fundo, o modelo de poliestireno expandido foi ajustado na caixa fundo, exerceu-se certa pressão no poliestireno durante o encaixe, mas sempre com certos cuidados devido a fragilidade do modelo, mas esta pressão foi necessária para possibilitar com que a peça ficasse bem fixa para que os detalhes fossem bem produzidos durante a fundição (Figura 3). O encaixe se torna importante, pois deve haver uma figura exata logo após a desintegração do poliestireno pelo o derramamento do metal.

Figura 3 - Ajuste do modelo de poliestireno.



Pelo fato de a engrenagem possuir um furo no centro, e para que haja mais exatidão desse detalhe na fundição, foi necessário o encaixe de um elemento chamada macho (Figura 4). O qual foi encaixado no orifício que o modelo de poliestireno expandido possuía.

Utilizou-se um tarugo de metal de um pequeno diâmetro, todavia a sua dimensão

foi perfeita para a dimensão requerida pelo o orifício do modelo.

Figura 4 - Ajuste do macho



Assim que o modelo e o macho foram posicionados, o modelo dos canais de alimentação e de subida são colocados juntamente com a areia restante para encher o molde, esse procedimento acontece logo que a caixa superior é encaixada à caixa inferior. Com a finalização do molde os modelos foram retirados deixando-se somente os orifícios para vazão (Figura 5).

Figura 5 – Delimitação dos canais de alimentação e subida.



Como um resumo de todos os materiais usados para que fosse possível completar a fundição em molde cheio é apresentada a seguir uma lista contendo os principais materiais usados e a aplicabilidade de cada material durante o processo (Tabela 1).

Tabela 1 - Relação dos materiais utilizados.

Material	Aplicação
Areia do Rio Amazonas	Construção do molde
Cadinho 1,2 L	Transporte do metal fundido

Forno mufla	Para fundir o metal
Liga de alumínio 5052	Metal que será fundido
Poliestieno da marca styroform	Construção do modelo
Tarugo metálico	Macho
Tubos de pvc	Modelos para o canal

A areia usada para a confecção do molde foi coletada na região do município de Careiro da Várzea, em um terreno de vegetação do tipo várzea alta. De acordo com o site Infoescola (s.d.) este tipo de vegetação tende a acompanhar as margens dos rios, em estações do ano onde há pouca ocorrência de chuva a água que a inunda seca completamente deixando esta região amostra, período em que a areia pode ser coletada.

O cadinho usado é feito de um material resistente a temperaturas elevadas, com o mesmo cadinho é possível até mesmo fundir ferro fundido sem que haja qualquer dano ao recipiente. Foi necessário o auxílio de uma garra metálica para transportar o cadinho do forno até o molde para que pudesse ocorrer o vazamento.

O forno mufla usado pertence a marca Jung de modelo LF9613, potência de 16 kW, trifásico, 220V e com capacidade para temperatura de 1300 °C. Já o poliestireno foi obtido na forma de um tarugo em uma loja da região para artigos de festas.

Dispensou-se o uso de material refratário, que viria a envolver a peça, pois houve a intenção de estudo dos possíveis defeitos na peça com a falta deles. Uma vez que a aparição de defeitos pela a adição da nova areia seria menor com a presença deles.

O alumínio adotado tem suas particularidades por não ser um alumínio puro e sim uma liga de alumínio e magnésio, que por ter forte resistência à corrosão é bastante usado no meio naval. A seguir consta a descrição de certas características da liga de alumínio 5052 (Tabela 2 e Tabela 3).

A composição química da liga é basicamente composta de magnésio e alumínio como pode ser notado na Tabela 2.

Tabela 2 - Composição química Alumínio Naval 5052.

Liga	Grupo	Mg (%)	LE-Mpa (%)	LR-Mpa (%)	Along (%)
5052	5xxx	2,50	60	170	20

Fonte: Coopermetal (2018).

Algumas propriedades do Alumínio Naval 5052 são apresentadas a seguir (Tabela 3). A procura por certas das características dessa liga ajudaram bastante durante todo o momento de estabelecimento do projeto para se realizar a fundição. Por exemplo, a temperatura de fusão se mostrou essencial para estabelecimento de uma temperatura para vaziar o metal no molde.

Tabela 3 - Propriedades físicas Alumínio Naval 5052.

Liga	Peso Específico (g/cm ³)	Módulo de Elasticidade MPa	Módulo de Rigidez MPa	Temperatura de Fusão (°C)
5052	2,68	72000	27500	595-650

Fonte: Coopermetal (2018) (s.d.).

2.2.2. Produto final

Nesta etapa são relatados todos os procedimentos que ocorreram após o vazamento do metal no molde. A partir deste ponto do trabalho que pode se chegar a certas conclusões sobre a técnica usada.

Após o processo de vazamento ser concluído, foi necessária a espera de cerca de dois minutos para o molde ser destruído. Para resfriamento rápido e limpeza da peça utilizou-se de água.

Assim que se concluiu por completo o resfriamento, na sequência utilizou-se da técnica de inspeção que segundo Chiaverini (1986) possui dois objetivos básicos, a rejeição de peças defeituosas e preservação da matéria prima e mão de obra utilizada na fundição. A inspeção se divide em três

ramos: inspeção visual, inspeção dimensional e inspeção metalúrgica.

A inspeção adotada para este trabalho foi a inspeção visual, que trata de analisar defeitos na superfície da peça ocasionados pelas etapas decorrentes do processo de fundição. Também foi considerada a inspeção dimensional para controle de medidas e busca pelos efeitos que o processo de fundição poderia trazer à peça em relação às suas medidas, para isto o modelo de poliestireno foi medido antes do processo de fundição e depois essas medidas foram comparadas à peça metálica fundida.

As técnicas de inspeção foram de grande auxílio, pois através destas foi possível observar a ocorrência de descontinuidades de fundição na peça e por fim serviu como uma espécie de medidor para saber se os objetivos estipulados foram alcançados.

2.3 Análise dos Dados

A fim de que fosse feito a análise dos dados coletados por meio das técnicas de pesquisa experimental, descritas nos itens anteriores, se utilizou de uma técnica para análise de dados chamada de triangulação na análise dos dados. Através deste método é possível a visualização de dados de outros trabalhos, ou seja, pontos de vista diferentes sobre o tema em questão ou a temas relacionados para que assim seja possível a chegada mais plausível em uma conclusão a respeito dos dados coletados.

Uma vez que os procedimentos de fundição adotados não são tão usuais, a técnica para análise dos dados se mostra uma ótima opção para se buscar uma resposta a respeito dos resultados obtidos, a fim de saber se estes se enquadram ou não nas normalidades do processo de fundição e desta forma o produto ser avaliado.

Logo após o término dos passos requeridos para esta classe de fundição, houve a desmoldagem e resfriamento da peça (relatado no item anterior), para que assim fosse possível o início da tomada de dados. Então por meio dos procedimentos adotados na análise dos dados, procuraram-se justificativas para a aparição de certos fenômenos que ocorreram e que poderiam ocorrer no processo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o uso da técnica de molde cheio no processo de fundição foi possível a fabricação de uma engrenagem de dentes retos em laboratório acadêmico. O maior diferencial enfrentado durante todo o processo foi a adequação de um novo tipo de areia ao processo, pois era certo de que seria grande a possibilidade de a mudança acarretar resultados diferentes dos esperados.

Desta maneira desde o princípio do planejamento para realização do processo de fundição foram levantadas pesquisas acerca da técnica de fundição e a areia utilizada, para se dimensionar quais seriam as melhores escolhas a serem tomadas diante do incremento de materiais não tão usuais dentro do ramo da fundição.

A peça logo após o resfriamento é mostrada a seguir (Figura 6), ao lado do modelo de poliestireno. Ao ser feita uma breve análise é perceptível a identificação de falhas na superfície da peça fundida. Estas descontinuidades se caracterizam como cavidades que acabam proporcionando um aspecto de deformação na peça, estes defeitos possuem mais de uma nomenclatura sendo chamados algumas vezes de bolhas, vazios ou porosidade.

Figura 6 - Modelo de poliestireno (esquerda) e peça fundida de alumínio (direita).

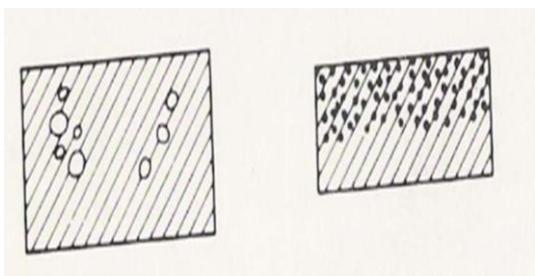


Mas estes pequenos defeitos não são desejáveis de ocorrer em um produto fundido. Eles indicam peças que estão fora do padrão requerido e para recuperação de produtos com estes defeitos são requeridos processos posteriores como a usinagem, o

que indica acréscimos de custos na produção.

Para esclarecimento dos fenômenos ocorridos é conveniente a descrição dos mesmos para haver certeza do que pode ter ocasionado cada um deles. Desta forma as cavidades conforme Braga (2011) podem ser encontradas por toda a extensão da peça, este tipo de defeito tende a imitar o formato de uma esfera onde muitas das vezes possui comunicação com o meio exterior e outras vezes não (Figura 3).

Figura 7 - cavidades com comunicação com o meio exterior (esquerda) e cavidades sem comunicação com o meio exterior (direita).



Fonte: Braga (2011)

Quando a peça fundida por meio deste trabalho (Figura 6) é examinada novamente os dois defeitos descritos na Figura 7 são encontrados. Mas o que ocorreu com maior frequência foi o defeito de cavidades sem comunicação com o meio exterior, comumente chamado de porosidade. De forma simplória pode-se definir o mecanismo de formação destas depressões ou saliências, abrangendo os dois casos mostrados na figura 7, como a incapacidade de dispersão dos gases durante o processo de solidificação do metal no molde. Ainda no raciocínio de Braga (2011), a causa dos mesmos pode está ligada a duas variáveis. A primeira é denominada pelo autor como Endógena e está relacionada aos gases que possuem suas origens no metal fundente, a segunda classe é nomeada como Exógena e a formação dos gases acaba sendo de responsabilidade do material de formação do molde.

O acontecimento destas discontinuidades já havia sido estipulado com grande chance de

ocorrência. O relacionamento dos defeitos com os gases é justificado, pois houve mudanças do material de constituição do molde. Além do mais, logo após a quebra do molde ocorreu a dispersão de um grande volume de gases que não conseguiu fugir para o meio exterior durante o vazamento.

Os fenômenos que aconteceram na peça fundida (Figura 6) se devem de forma majoritária à areia utilizada. De acordo com o estudo sobre a caracterização da areia do Rio Amazonas de Silva et. al. (2017), a areia possui um ponto de fusão abaixo do esperado, quando comparada a outras areias que são mais usuais na fundição, esta começa a fundir a 1100 °C o que impossibilita o trabalho de fundição com materiais em que o ponto de fusão esteja nas proximidades dessa faixa ou em temperaturas ainda mais elevadas. Sendo que o metal, utilizado por este trabalho, foi vazado a 900 °C que é uma temperatura nas proximidades da temperatura de sinterização da areia usada para fabricação do molde. Com esta informação pode-se dizer que houve um aumento de volume de geração de gases por parte da areia devido a aproximação de temperatura de fusão da mesma.

A justificativa para a utilização da temperatura de 900 °C para a liga de alumínio naval 5052, a qual geralmente entra em fundição em torno de 650 °C, engloba a preocupação da ocorrência de um fenômeno de solidificação enquanto o material em sua forma líquida fosse transportado no cadinho para o molde. Caso a solidificação ocorresse antes da vazão haveria maiores defeitos na peça, como exemplo pode-se dizer que alguns da engrenagem não seriam reproduzidos com exatidão. Porém este problema não foi encontrado no produto fundido por este trabalho, na Figura 6 percebe-se que os detalhes do modelo foram reproduzidos de forma satisfatória.

Ainda em seu trabalho, Silva et. al. (2017) comenta que pelo fato de haver alta porcentagem de argila na areia em seu estado natural, ocorre certa contribuição para que haja dificuldade do processo de

fuga de gases durante a execução da fundição. Esta é a principal dificuldade encontrada ao se trabalhar com este tipo de areia, pois a mesma não possui uma boa permeabilidade. A permeabilidade é dita como a facilidade com que os gases gerados pelo processo de fundição possuem para se desprender do molde para saírem ao ambiente externo.

Na areia do Rio Amazonas por haver uma boa porcentagem de argila na sua composição, isso faz com que os grãos estejam mais aglomerados o que limita a passagem de gases entre eles. Este evento acaba causando a formação de defeitos conhecidos como bolhas e vazios. Com a ligação das informações descritas é possível deduzir que não houve possibilidade para dispersão de gases de forma adequada para que não houvesse a formação dos defeitos de cavidades. Visto que com a utilização do poliestireno expandido como material para construção do modelo houve maior volume de gases produzidos durante o processo de vazamento do metal.

Para uma melhor compreensão dos acontecimentos dos defeitos na peça por meio do uso da nova areia é exposto uma pequena parte do trabalho de Silva et. al. (2017) que ajuda na tomada de conhecimento dos componentes da areia em questão, conforme os dados relatados na Tabela 4.

Tabela 4. Porcentagem dos materiais contidos na amostra

Mineral	[%]
Areia final	34,78
Areia grosseira	0,40
Argila	32,67
Silte	32,15

Fonte: Silva et. al. (2016).

Através da Tabela 4 é possível identificar uma maior porcentagem de areia final, areia com características mais oportunas ao processo de fundição, a qual possui uma porcentagem de 34,78% na composição total da areia. A areia grosseira se diferencia da areia final por ter o diâmetro de seus grãos

maiores, porém sua porcentagem no caso é muito pequena, se apresenta com apenas 0,40% por motivo de a areia do Rio Amazonas estar em contato com água uma boa parte do ano e com isso os grãos se tornam menos grosseiros pela limpeza proporcionada por este evento.

A argila se apresenta possuindo 32,67% de presença na areia do Rio Amazonas, porém esta porcentagem é bastante elevada, pois chega a ser um valor muito próximo da porcentagem de areia final. O *silte* também é encontrado em alta porcentagem, mas este componente possui um diâmetro de grão ainda menor que os outros grãos que já foram expostos, desta forma este componente se apresenta como um pó bem fino e suas características não desempenham um papel substancial no processo de fundição.

Mediante isto é possível relatar que com o uso da areia do Rio Amazonas como material para construção do molde não foi possível a fabricação de uma peça sem defeitos, quando se usa a técnica de molde cheio. A peça fabricada com o uso desta areia deve passar por processos posteriores para correção de acabamento para que assim possa ser utilizada de forma eficaz. Por ser necessária a realização de processos posteriores o método pode não ser tão oportuno, pois dependendo do montante a ser fabricado o custo de produção irá aumentar substancialmente.

Porém este resultado não está somente ligado à areia, o uso do poliestireno expandido como material para construção do modelo também contribuiu para tal fenômeno. Martins (2003) em seu estudo comenta que os defeitos mais comuns que aparecem com a utilização da técnica do molde cheio são: defeitos de superfície, rugosidade, porosidade, solda fria, carbono lustroso e deformações no modelo devido ao excesso de compactação da areia.

Mas defeitos como a deformação no modelo devido a alta compactação não foram encontrados e não justificam o que houve na engrenagem fundida, pois a compactação foi feita manualmente sem o uso de aplicação de nenhum tipo de pressão excedente, a

pressão utilizada foi somente aquela feita com as mãos para comportar a areia e encher as caixas de fundição. Já o carbono lustroso é um defeito que é intrínseco ao processo de fundição de ferro fundido e aço, pois estes materiais apresentam em sua composição porcentagens consideráveis de carbono, todavia pelo fato de a fundição contar como material para ser fundido uma liga de alumínio isto faz com que o acontecimento do carbono lustroso seja descartado e de fato na peça fundida não houve aparição desta descontinuidade.

Ainda levando em consideração o trabalho de Matins (2003) pode-se comentar que os defeitos de superfície, os quais são próprios do poliestireno expandido devido aos tamanhos das pérolas, foram evitados ao se envolver o poliestireno expansível com argamassa e tinta acrílica e assim camuflar os detalhes das pérolas. A porosidade é vista no processo com uso de molde cheio, segundo Martins (2003), como uma descontinuidade que pode ser agravada pela liberação de gases ou líquidos enquanto o modelo é degradado pelo o metal líquido, uma vez que o metal pode absorver o volume de gás que é solto pelo poliestireno expandido quando se trabalha com o molde cheio e não houver um bom mecanismo de fuga de gases durante o vazamento.

Dentro destes defeitos comentados por Martins (2003) o que mais justifica a presença das pequenas cavidades na peça fundida por este trabalho é aquele referente à porosidade, caracterizada também como uma cavidade, pois não houve uso de tinta refratária para envolver o modelo e facilitar a fuga de gases e com o uso de uma areia com baixa permeabilidade houve o agravamento da aparição destes defeitos na superfície da peça.

Ao se detalhar a ocorrência de tal fenômeno pode-se também dizer que a retirada da tinta refratária possibilitou com que as limitações do uso da areia ficassem mais evidentes quando se usa a técnica do molde cheio. Pois o material refratário tem principal papel de envolver a peça durante o processo, devido uma de suas tarefas está relacionada ao facilitar a fuga de gases (produzidos com a

degradação do poliestireno expandido) para a areia e proteger a peça de tal forma que haja baixa aderência da areia à superfície. Como já foi relatado, mas é de alta importância para compreender o fenômeno, logo depois da destruição do molde para obtenção da peça percebeu-se a liberação intensa de gases que não conseguiram sair do molde. Diante disto pode ser comprovada que durante o vazamento houve alta produção de gases e que os mesmos só tiveram condições de fuga após a quebra do molde e por este fato ocorreu a aparição de certas descontinuidades na superfície da peça fundida.

A fundição é um dos processos de fabricação em que o resultado final passa a ser somente previsível e não algo com uma grande exatidão, pois durante o vazamento é muito difícil de dizer o que realmente está ocorrendo dentro do molde e então somente com a quebra do molde e obtenção da peça que poderá ser dito se o processo foi realizado com sucesso ou não. Além das descontinuidades de várias cavidades ao longo de toda extensão da peça também pôde ser observado um encolhimento da engrenagem fundida em relação ao modelo de poliestireno expandido. Ocorreu a redução de medidas em relação ao diâmetro (Figura 6) e em relação à largura (Figura 8).

Figura 8 - Vista lateral do modelo e peça.



O processo de fundição conta com o aparecimento de alguns fenômenos tais como cristalização, concentração de impurezas, contração de volume e desprendimento de gases. Sendo que o último já foi comentado anteriormente, porém ao se descrever estes fenômenos é

dada certa importância no fenômeno de contração de volume, pois este, se não houver um devido planejamento, pode prejudicar o produto final, devido à falta das dimensões desejadas para a tarefa que a peça desempenharia. Além do mais é requerido diante do projeto para fundição um modelo com medidas maiores daquelas que realmente se almeja para a peça, pois pode ocorrer de ser necessário passar a peça por um procedimento de usinagem para correções e assim a peça irá perder medidas e estará fora do padrão previamente estabelecido.

Chiaverini (1986) comenta que existem três tipos de contração de volume, sendo elas: contração líquida, contração de solidificação e contração sólida. Onde a adotada para verificação e embasamento dos dados deste trabalho é a contração sólida que segundo as palavras ainda de Chiaverini (1986) compreende a variação de volume que ocorre do final de solidificação da peça até esta alcançar a temperatura ambiente. O autor ainda ressalta em seu trabalho que a taxa de contração é bastante variável para cada tipo de material.

Chiaverini (1986) também propõe que os modelos usados na fundição, onde o metal fundente será o alumínio, devem ser projetados com certo acréscimo nas dimensões, devido à contração do metal, cujo usado neste trabalho segundo o autor tem 0,10 a 0,13 mm/cm, desta forma deve haver uma margem de segurança para que a peça finalizada tenha as medidas planejadas.

Mediante isto é possível supor certas mudanças que poderiam ocorrer com as alterações que foram estabelecidas por este trabalho em relação à contração da liga de alumínio, pois a técnica de molde cheio não é tipicamente usada a uma areia como a do Rio Amazonas e deste modo não havia embasamento para saber como a liga se comportaria nesta situação. Por este motivo escolheu-se a contração sólida, onde a medição primeiramente foi no modelo e depois na peça fundida para que assim fosse possível se tirar conclusões a respeito do comportamento da liga.

Com o auxílio de um paquímetro foram retiradas as medidas necessárias para saber o comportamento da liga e por fim da peça quando foi sujeita ao método. As dimensões do modelo e peça em relação ao diâmetro e largura são apresentadas a seguir, no final é apresentada a diferença dimensional entre os mesmos, ratificando a redução do volume que ocorreu durante o processo (Tabela 5).

Tabela 5 - Diferença de medidas entre o modelo e a peça fundida.

	Diâmetro (mm)	Largura (mm)
Modelo	117,4	36,5
Peça	116,6	30,0
Encolhimento (%)	0,68	17,8
Diferença dimensional	0,8	6,5

Mediante a observação dos valores expostos na tabela 5 é possível se chegar a certas conclusões em relação ao comportamento da peça durante o processo. Em relação ao diâmetro não houve tanta variação nas medidas do modelo e peça, todavia pode-se perceber que houve uma perda considerável em relação à largura medida do modelo e peça.

A discrepância nas dimensões é justificada pelo fato de o alumínio ser um material que possui alta taxa de contração. Também pode ser dito que o acontecimento de encolhimento de peças fundidas é um fato que ocorre com certa frequência nos processos de fundição.

É importante comentar que após a passagem do alumínio pelo processo de fundição este pode apresentar certos defeitos que estão associados a variáveis metalúrgicas e projetos de fundição, que combinados a uma elevada porcentagem de contração de solidificação, alta solubilidade de hidrogênio no estado líquido, alta reatividade com o oxigênio do ar e com o vapor de água e

baixa densidade podem conferir discordâncias como rechupes, microporosidades, inclusão de óxido e bolhas de ar que podem impossibilitar o uso do produto fundido na tarefa em que este seria empregado conforme Kolososki (2001).

O processo em si deve enfrentar o problema de contração da peça e este fato não é decorrente somente de fundição com o uso de técnica de molde cheio, mas também ocorre em técnicas como de areia verde e cera perdida. É verídico que quando o metal é vazado este se encontra em uma alta temperatura e qualquer material quando perde o calor se contrai, desta forma por se usar o processo de fundição haverá perdas de medidas em todos os casos, pois o metal ocupará toda a cavidade do molde ainda com temperatura de fusão e após o processo este procurará entrar em equilíbrio térmico com o meio em que está e por isso irá permanecer cedendo calor por um bom tempo e por consequência se contraindo. Poderiam ser expostos vários casos exemplificando o processo de contração que ocorre na fundição, porém neste trabalho será exposto somente um caso. Como ratificação do fato é exposto o caso de encolhimento de dimensões de uma peça mecânica através do processo de fundição em cera perdida no trabalho de Silva et. al. (2016).

No trabalho de Silva et. al. (2016) é apresentado como objetivo a fabricação de um elemento de máquina chamado came através da técnica de cera perdida (microfusão), e após a fabricação procurou-se apurar as medidas da peça em relação ao modelo de cera construído para se chegar a certa conclusão do acontecimento ou não de algum fenômeno durante o processo. O material para ser fundido escolhido foi diferente do adotado por este estudo porém é uma grande oportunidade para observar o comportamento de outro metal e assim se chegar a conclusões mais embasadas.

A seguir são apresentadas imagens da peça fabricada por meio da técnica de cera perdida para se analisar de forma mais

eficiente o resultado do processo (Figura 9) e (Figura 10).

Figura 9 - Primeiro came original, segundo modelo cera e terceiro fundido com latão.



Fonte: Silva et. al. (2016).

Figura 10 – Eixos considerados para medição.



Fonte: Silva et. al. (2016).

No trabalho referente ao processo de cera perdida (Figura 9) foi observado o encolhimento linear da peça, é importante comentar que o encolhimento, segundo o autor, ocorreu em todas as direções consideradas (eixo a e b). Na Figura 9 é possível ver o came original usado para construção do modelo, o modelo em si e o produto final, também é importante notar que na peça finalizada há a presença de discontinuidades caracterizadas como cavidades sendo o mesmo fenômeno que ocorreu no presente trabalho o qual falou sobre a técnica de molde cheio. Os resultados das medições podem ser vistos e comprovado o aparecimento do fenômeno de encolhimento na Tabela 6. Através da Figura 10 é possível ver as direções que foram consideradas para essas medidas.

Tabela 6 - Copilação dos dados obtidos a partir da avaliação da peça.

Peça	Dimensão (a) mm	Dimensão (b) mm	Encolhimento (%)	Diferença Dimensional (mm)
Original	240,10	240,95	0	0
Cera	240,05	240,90	0,020	0,10
Latão	240,00	240,85	0,042	0,20

Fonte: Silva et. al. (2016).

Mediante os dados expostos na Tabela 6 é possível dizer que houve um decréscimo de medidas conforme se chegava à peça final, a perda de medidas acabou que ocorreu em todos os eixos considerados e assim deixou a peça final com medidas uniformes mesmo com o fenômeno de contração ocorrendo. A peça finalizada acabou que teve perda de cerca de 0,10 mm no eixo a e de 0,10 mm em relação ao eixo b, medidas comparadas entre a peça original e peça fundida por meio da fundição em cera perdida.

Portanto é possível chegar à conclusão de que o fenômeno de contração ocorreu no processo de fundição de molde cheio, porém isto não é dependente do tipo de metal vazado, molde, técnica usada ou material utilizado para construção do molde. A contração vai acontecer em qualquer técnica do processo de fundição, porém a porcentagem com que ocorre vai variar conforme os materiais e técnicas usadas.

CONCLUSÃO

A fundição em molde cheio pode ser aplicada na fabricação de diversos tipos de peças para determinados fins. Este processo apresentou-se vantajoso devido ao baixo custo, redução do intervalo de tempo para obtenção do produto final e flexibilidade quanto ao formato da peça desejada, pois o poliestireno teve baixo custo de obtenção e pôde ser modelado no formato pretendido.

Todavia, devido ao emprego da areia do rio Amazonas e a retirada de material refratário ocorreram aparições de descontinuidades claras na superfície da peça, este fato é reforçado por Silva *et al.* (2017) que menciona em seu trabalho a limitação da

areia do rio Amazonas na função de areia-base na fundição devido ao seu baixo ponto de fusão. Em outro trabalho Silva *et al.* (2016) relata a presença de taxa de encolhimento das dimensões de uma peça mecânica mediante o processo de fundição em cera perdida, fenômeno que também esteve presente no processo de molde cheio por meio da redução dimensional em relação ao diâmetro e largura da engrenagem.

Por motivo dos eventos ocorridos que foram detalhados ao longo do presente trabalho é possível chegar a certos desfechos de ideias em relação às técnicas usadas com o auxílio dos objetivos que foram definidos no início do trabalho.

Ao se analisar os resultados em comparação aos objetivos definidos pode-se dizer que é possível fabricar uma peça metálica mediante o método de molde cheio com o incremento de areia do Rio Amazonas, a técnica possibilita a produção de peças com as formas que o modelo de poliestireno possui. Porém a qualidade superficial da peça deixa a desejar, pelo menos quando a tinta refratária é retirada do processo. A peça apresentou certos defeitos como porosidade, bolhas e vazios ocasionando certo grau de acabamento não satisfatório principalmente na parte frontal da engrenagem.

Ao se realizar a apuração de mudanças dimensionais foi comprovado que a peça fundida se apresentou com redução nas suas dimensões, deste modo pode-se chegar à conclusão que a peça fabricada a partir deste método deve ter um modelo com dimensões maiores que as desejadas para a peça fundida para se prever eventos de contração próprios do processo de fundição.

Portanto é aceitável estabelecer que através da técnica de fundição de molde cheio com incremento de areia do Rio Amazonas possibilita a fabricação de peças metálicas o que pode abrir maiores oportunidades para aprimoramento da técnica, que se apresentou bastante econômica. Porém com as possibilidades de alcance do presente trabalho a peça fabricada apresentou acabamento não satisfatório, a qual irá exigir a realização de processos de usinagem

posteriores incrementando valores ao custo de fabricação.

De forma mais simplória pode-se dizer que por meio das ideias propostas neste trabalho foi possível a fabricação de uma engrenagem de dentes retos usando-se a liga de alumínio 5052, porém ocorreu a aparição de defeitos na superfície da peça fabricada.

REFERÊNCIAS

A fundição de magnésio pelo processo de molde cheio, com enchimento controlado. Revista Aranda Editora, ano 16, nº 166, 2006.

ABAL, s.d., “Perfil da Indústria Brasileira de Alumínio”. Disponível em: <<http://abal.org.br/estatisticas/nacionais/perfil-da-industria/>>. Acesso em 05 de Julho de 2018.

Braga, A. F., “Defeitos em peças fabricadas pelo processo de fundição”. Disponível em <<http://www.jmmsassessoria.com.br/upload/files/defeitos-em-pecas-fabricadas-pelo-processo-de-fundicao.pdf>>. Acesso em 30 de Outubro de 2018.

Chiaverini, V., 1986, Tecnologia Mecânica: Processos de Fabricação e Tratamento – Vol II, 2. ed. São Paulo: Editora McGraw-Hill, 310 p.

COOPERMETAL, s.d., "Alumínio Naval 5052F". Disponível em: <http://www.coppermetal.com.br/produtos_aluminio_naval5052f.html>. Acesso em 05 de Julho de 2018.

Flinn, R. A, 1963, “Fundamentals of Metal Casting”, 1.ed. Boston: Addison-Wesley, 324 p.

Silva, R. N. A, 2017, “Fundição e Soldagem”, 1 slide: color.

INFOMET, s.d., "Ligas Al-Mg". Disponível em:

<<http://www.infomet.com.br/site/metais-e-ligas-conteudo-ler.php?codAssunto=53>>.

Acesso em 05 de Julho de 2018.

KOLOSOSKI, J., 2001, "Estudo de sistemas de canais para fundição de ligas de alumínio por gravidade", Dissertação (Dissertação em engenharia mecânica) – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, p. 116.

Martins, F. G, 2003, “Estudo da Viabilidade Técnica do Processo Molde Cheio para Fundições em Areia”. Disponível <<https://repositorio.ufsc.br/>>. Acesso em 24 de Outubro de 2017.

Mundoeducação, “Bacia Amazônica”. Disponível em <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/geografia/bacia-amazonica.htm>> . Acesso em 30 de Outubro de 2018.

Silva, R. N. A., Gusmão, A. R. B., Assis, E. R., Consentini, L. F. N., Vasconcelos, S. M., 2016, “Fundição de uma peça mecânica por processo de cera perdida "microfusão"”, In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 2016, Foz do Iguaçu, Anais: Foz do Iguaçu: [s.n], 2016, p. 1-5.

Silva, R.N.A., Neto, J.C.M., Freitas, L.B., Silva, C.C., Kimura, S.P.R., Martins, J.C., Freitas, B.M., Santana, S.S, 2017, “Caracterização dos aspectos físico-químico do solo de várzea do rio Amazonas para o uso em fundição de ligas de alumínio”, In: Congresso Brasileiro de Cerâmica, 61., 2017, Gramado. Anais: Foz do Iguaçu [s.n], 2017, p. 1. Soares, G.A, 2000, “Fundição: Mercado, Processos e Metalurgia”, Editora COOPE – Rio de Janeiro, 116 p.

SOARES, G.A., 2000, “Fundição: Mercado, Processos e Metalurgia”, 1. ed. Rio de Janeiro: Editora COOPE, 116 p.