

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
ESPECIALIZAÇÃO EM *LEAN SIX SIGMA***

FLÁVIO LUÍS MOCHINSKI

**FERRAMENTAS *LEAN SIX SIGMA* APLICADAS NA MELHORIA DA
QUALIDADE DE PEÇAS FUNDIDAS DE ALUMÍNIO**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2021

FLÁVIO LUÍS MOCHINSKI

**FERRAMENTAS *LEAN SIX SIGMA* APLICADAS NA MELHORIA DA
QUALIDADE DE PEÇAS FUNDIDAS DE ALUMÍNIO**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em *Lean Six Sigma*, do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Orientador(a): Wanderson Stael Paris, M.Sc.

CURITIBA

2021



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Curitiba
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Departamento Acadêmico de Eletrotécnica
Especialização em Lean Six Sigma - Certificação Black Belt



TERMO DE APROVAÇÃO

FERRAMENTAS *LEAN SIX SIGMA* APLICADAS NA MELHORIA DA QUALIDADE DE PEÇAS FUNDIDAS DE ALUMÍNIO

Por

FLÁVIO LUÍS MOCHINSKI

Esta monografia foi apresentada em 20/06/2021, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Lean Six Sigma - Certificação Black Belt, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. A aluno foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Wanderson Stael Paris, M.Sc.
Orientador - UTFPR

Marcelo Rodrigues, Dr.
Membro Titular da Banca - UTFPR

Emerson Rigoni, Dr. Eng.
Membro Titular da Banca - UTFPR

O termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso.

RESUMO

MOCHINSKI, Flávio L. **Ferramentas Lean Six Sigma Aplicadas na Melhoria da Qualidade de Peças Metálicas Fundidas de Alumínio**. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização *Lean Six Sigma* - Certificação *Black Belt*) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2021.

O presente trabalho consiste na aplicação da metodologia *Lean Six Sigma* no processo de fundição, em areia verde, de peças metálicas em alumínio. Este trabalho identifica a causa raiz do defeito encontrado nas peças metálicas e propõem soluções para o problema. As ferramentas Lean Six Sigma são empregadas no projeto que teve início com o DMAIC. O uso desse ferramental possibilitou identificar a causa do defeito encontrado nas peças após fundição. Na empresa estudada o defeito recorrente no processo é a falta de enchimento, o qual era ocasionado pela baixa temperatura de vazamento. Nesse contexto, a solução foi substituir as panelas utilizadas e priorizar as peças finas no processo produtivo e, isso, permitiu produzir peças livres de defeitos. Portanto, as ferramentas *Lean Six Sigma* possibilitaram eliminar as peças defeituosas e, assim, a nova metodologia está sendo atualmente empregada pela empresa.

Palavras Chaves: Fundição. DMAIC. Lean Six Sigma.

ABSTRACT

MOCHINSKI, Flávio L. **Ferramentas Lean Six Sigma Aplicadas na Melhoria da Qualidade de Peças Metálicas Fundidas de Alumínio**. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização *Lean Six Sigma* - Certificação *Black Belt*) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2021.

The present work consists in the application of the Lean Six Sigma methodology in the casting process, in green sand, of metallic parts in aluminum. This work identifies the root cause of the defect found in metallic parts and proposes solutions to the problem. Lean Six Sigma tools are employed in the project that began with DMAIC. The use of this tool made it possible to identify a cause of the defect found in the parts after casting. In the company studied, the recurrent defect in the process is the lack of filling, which was caused by the low pouring temperature. In this context, the solution was to replace the pans used and prioritize fine parts in the production process and, therefore, produce parts free of defects. Therefore, Lean Six Sigma tools made it possible to eliminate the defective parts and, thus, the new methodology is currently being employed by the company.

Keywords: Casting. DMAIC. Lean Six Sigma.

LISTA DE TABELAS

Quadro 1: Vantagens e desvantagens da moldagem em areia verde.	14
---	----

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Atuação do pesquisador na resolução de problemas.....	11
Figura 2: Pesquisa-ação aplicado ao projeto de pesquisa.	12
Figura 3: Processo de fundição.....	15
Figura 4: Machos confeccionados.	16
Figura 5: Lingote de Alumínio.....	17
Figura 6: Peça após o desmolde.....	18
Figura 7: Peças Aprovadas.	19
Figura 8: Etapas de Moldagem.	20
Figura 9: Defeitos de Fundição.	21
Figura 10: União do Lean Manufacturing e o Six Sigma.....	23
Figura 11: Cinco etapas do DMAIC.	25
Figura 12: Diagrama de Pareto.	27
Figura 13: Diagrama de Ishikawa.	28
Figura 14: União 5 porquês e Ishikawa.....	29
Figura 15: Project Chart.....	31
Figura 16: Plano de Coletas de Dados.	32
Figura 17: Peça Rejeitada do Tipo A e B devido a Falha	33
Figura 18: Peça Rejeitada do Tipo A devido a Falha.	34
Figura 19: Peça Rejeitada do Tipo B devido a Falha.	34
Figura 20: Diagrama de Ishikawa para os defeitos A e B.....	35

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
1.1 PROBLEMAS DE PESQUISA	9
1.2 OBJETIVOS	9
1.2.1 Objetivo Geral	9
1.2.2 Objetivo Específico	9
1.3 JUSTIFICATIVA	9
1.4 METODOLOGIA	10
1.4.1 Classificação da Pesquisa	10
1.4.2 Procedimentos de Coleta e Análise dos Dados	12
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	13
2 APRESENTAÇÃO DO TEMA DE PESQUISA	14
2.1 PROCESSO DE FUNDIÇÃO POR MOLDAGEM EM AREIA VERDE	14
2.2.1 Confecção do Projeto do Molde (Modelação)	16
2.2.2 Confecção do Molde (Moldagem)	16
2.2.3 Confecção do Macho (Macharia)	16
2.2.4 Fusão do Metal	17
2.2.5 Vazamento do Metal no Molde	17
2.2.6 Solidificação e Resfriamento	17
2.2.7 Desmoldagem	18
2.2.8 Rebarbação e Limpeza	18
2.2.9 Inspeção da Peça	18
2.3 PROCEDIMENTOS PARA A MOLDAGEM EM AREIA VERDE	19
2.4 DEFEITOS DE FUNDIÇÃO	21
3 REFERÊNCIA TEÓRICA LEAN SIX SIGMA	23
3.1 OS OITO DISPERDÍCIOS	23
3.2 DMAIC	25
3.2 PROJECT CHART	26
3.3 PLANO DE COLETA DE DADOS E 5 WS E 1H	26
3.4 FOLHAS DE VERIFICAÇÃO	26
3.5 DIAGRAMA DE PARETO	27
3.6 DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO	27
3.7 BRAINSTORMIG	28
3.8 CINCO PORQUÊS	28
3.9 PADRONIZAÇÃO DE PROCESSOS	29
3.10 SÍNTESE E CONCLUSÕES	25
4 APLICAÇÃO DO REFERENCIAL TEÓRICO	31
4.1 FASE DEFINIR (DEFINE)	31
4.2 MEDIR (MEASURE)	32
4.3 ANALISAR (ANALYSE)	35
4.3.1 Meio Ambiente	35
4.3.1.1 Temperatura ambiente	35
4.3.2 Método	36
4.3.2.1 Enchimento Lento da cavidade do molde com o metal líquido	36
4.3.2.2 Temperatura Baixa	36
4.3.3 Mão-de-obra	36
4.3.3.1 Falta de treinamento	36
4.3.4 Medida	37
4.3.4.1 Não há controle da temperatura	37

4.4 IMPROVE (MELHORAR)	37
4.4.1 <i>Who</i> (Quem)?	37
4.4.2 <i>What</i> (O que)?	37
4.4.3 <i>Why</i> (Por quê)?	38
4.4.4 <i>Where</i> (Onde)?	38
4.4.5 <i>When</i> (Quando)?	38
4.4.6 <i>How</i> (Como)?	38
4.5 CONTROLAR (CONTROL)	38
5 CONCLUSÃO	40
5.1 DIFICULDADES ENCONTRADAS	40
5.2 PROPOSTA PARA TRABALHOS FUTUROS	41
REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

A concorrência no setor industrial está cada vez mais acirrada e, além disso, os clientes estão mais exigentes (GOSLING; SOUZA; ARAÚJO, 2006). Nesse contexto, as empresas devem estar preparadas para diminuir os custos de produção e, ao mesmo tempo, entregar produtos que atendem as expectativas do cliente. No entanto, para sanar os desejos e necessidades dos clientes é indispensável uma cultura voltada para a melhoria contínua do processo.

A indústria de fundição é, um exemplo de setor da indústria metalúrgica, impactada pela produção de peças defeituosas. Essas peças defeituosas representam custos, os quais devem e podem ser evitados. No processo de fundição a matéria-prima (metal) e a moldagem somam cerca de 75% do custo total da peça fundida e, dessa forma, há uma busca contínua por melhorias no processo produtivo (BRAGA; SILVA; ALVES, 2005).

Assim, a metodologia *Lean Six Sigma* é uma ferramenta que pode trazer resultados positivos na indústria de fundição, a qual está inserida em um ambiente competitivo onde a qualidade dos produtos e a eliminação dos desperdícios no processo produtivo são fatores determinantes para o sucesso.

A metodologia *Six Sigma* visa eliminar as falhas nos processos e, conseqüentemente, proporcionar produtos e serviços de qualidade. Os defeitos do processo são reduzidos até 3,4 por milhão de oportunidades, o que significa entregar 99,9997% de produtos dentro das conformidades, quando a instituição alcança o nível da qualidade de 6σ (MCCARTY; BREMER; DANIELS; GUPTA, 2011). Para tanto, a metodologia aplica poderosas ferramentas estatísticas que permitem aumentar expressivamente os lucros das empresas e a qualidade dos produtos. Essa metodologia foi desenvolvida pela Motorola, na década de 80, e proporcionou retornos financeiros significativos para essa e outras empresas que a empregaram.

O *Lean Manufacturing*, assim como o *Six Sigma*, é aplicado com o objetivo de aumentar a lucratividade e qualidade dos processos. A finalidade desse, porém, é reduzir os desperdícios que podem ser: defeitos, excesso de produção, estoques, processamento, movimento, transporte e espera (WERKEMA, 2012).

A união do *Six Sigma* e do *Lean Manufacturing* proporcionam um amplo conjunto de ferramentas capazes de atender os mais diversos processos e produtos. (WERKEMA, 2012). Assim, a aplicação do *Lean Six Sigma* pode ser um caminho para reduzir os defeitos nas peças produzidas no processo de fundição.

1.1 PROBLEMAS DE PESQUISA

A fábrica vem produzindo peças defeituosas pelo processo de fundição em areia verde e, isso, tem gerado desperdício de 10%, do alumínio virgem, por peça defeituosa. Nesse contexto, como as ferramentas *Lean Six Sigma* podem ser utilizadas para identificar possíveis melhorias no processo de fundição de peças em alumínio e eliminar os seus defeitos?

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral e específicos do trabalho realizado na fábrica de fundição são descritos nos tópicos a seguir.

1.2.1 Objetivo Geral

Utilizar as ferramentas *Lean Six Sigma* para eliminar os defeitos das peças, em alumínio, fundidas em moldes de areia verde.

1.2.2 Objetivo Específico

- a) Levantar informações acerca do processo de fundição;
- b) Aplicar o método DMAIC;
- c) Utilizar ferramentas *Lean Six Sigma* nas etapas do DMAIC;
- d) Propor possíveis melhorias no processo;
- e) Controlar as melhorias propostas.

1.3 JUSTIFICATIVA

A implementação do *Lean Six Sigma* tem tornado as empresas mais competitivas para atender as necessidades dos clientes em um mercado cada vez mais disputado (DOMINGUES, 2013). Essa metodologia permite eliminar os

desperdícios no processo produtivo. Dessa forma, as ferramentas *Lean Six Sigma* permitiram produzir todas as peças perfeitas, na empresa estudada, após a sua implementação.

Este trabalho faz um levantamento bibliográfico das ferramentas *Lean Six Sigma*, as quais foram empregadas para solucionar o problema da empresa analisada. Dessa forma, este trabalho é relevante academicamente, pois utiliza referências bibliográficas como base para solucionar problemas reais encontrados no dia a dia das empresas.

Atualmente, a empresa estudada trabalha com a produção de peças em alumínio, as quais vem apresentando defeitos de fundição. Nesse contexto, a aplicação da metodologia *Lean Six Sigma* justifica-se, visto que proporcionará a identificação das possíveis melhorias no processo produtivo e, assim, ações corretivas serão aplicadas para sanar os problemas encontrados. Portanto, esta pesquisa prevê eliminar a rejeição das peças fundidas em alumínio, pois essas peças defeituosas representam perda de 10% do alumínio virgem utilizado para produzi-las.

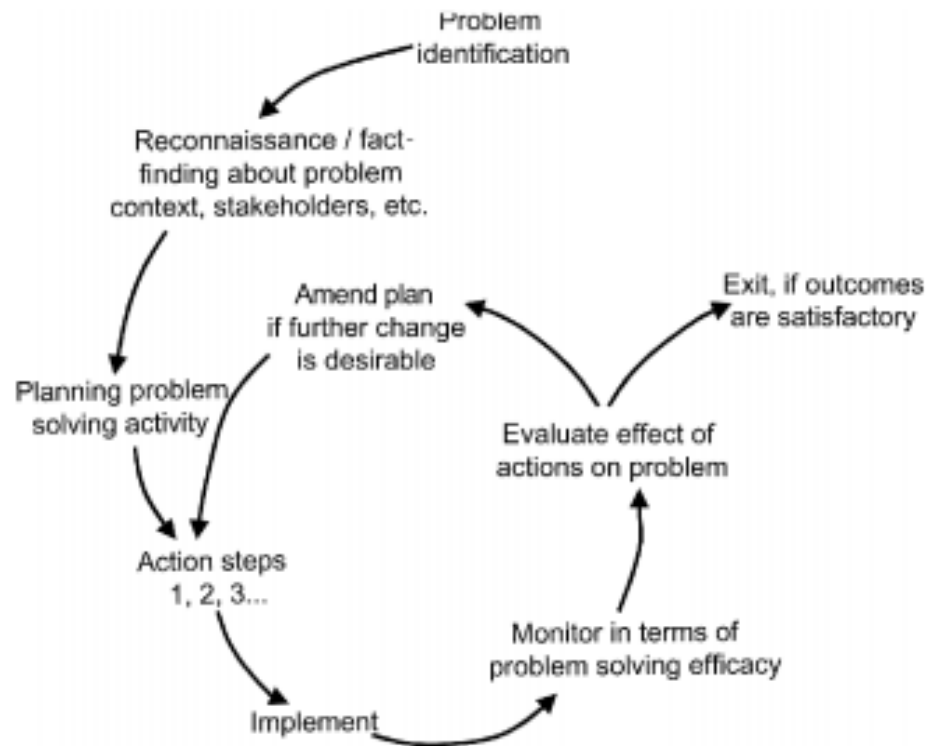
1.4 METODOLOGIA

Nessa seção é apresentada a classificação da pesquisa e, também, os procedimentos de coleta e análise dos dados.

1.4.1 Classificação da Pesquisa

A metodologia aplicada para a execução do presente trabalho é a pesquisa-ação que visa a melhorias e soluções nas organizações, através da geração de novos conhecimentos (THIOLLENT, 1997). A teoria e as práticas combinadas são a essência desse método de pesquisa (MARSHALL, MCKAY, 2001). Portanto, a pesquisa-ação visa produzir conhecimentos com o objetivo de solucionar problemas existentes. O comportamento de um pesquisador em uma pesquisa-ação é representado na Figura 1.0:

Figura 1: Atuação do pesquisador na resolução de problemas

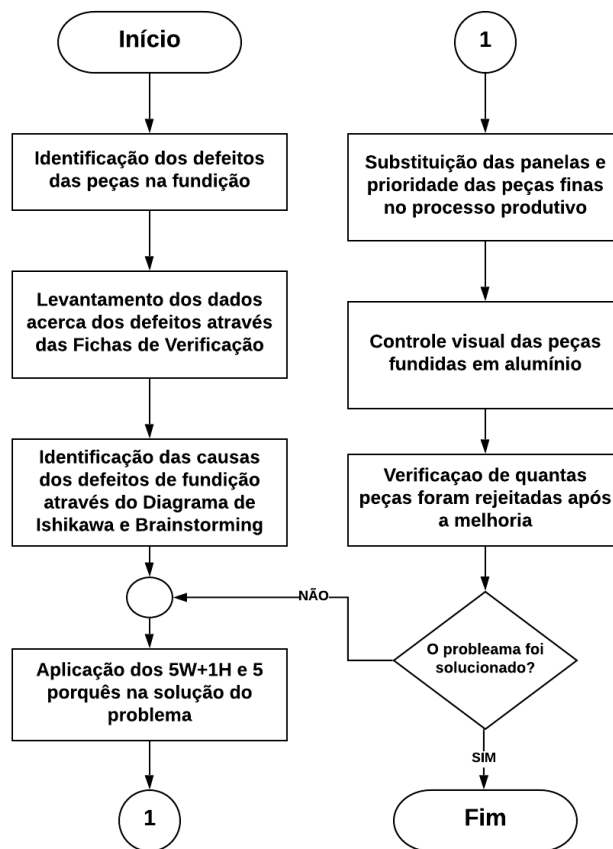


Fonte: Mckay, J. e Marsh, P (2001).

A identificação do problema é o início da pesquisa-ação que deve ser embasada em um problema real. Em seguida, os pesquisadores devem estudar o problema para levantar dados para solucioná-lo. Após a coleta de informações, o pesquisador deve planejar atividades para resolver o problema identificado e considerar a participação das pessoas envolvidas com o projeto. Em seguida, as atividades devem ser implementadas, monitoradas e avaliadas a eficiência das propostas de solução do problema apontado. Solucionado o problema, o pesquisador é retirado da pesquisa e, caso contrário, é proposto novas ações para resolver o problema (MARSHALL, MCKAY, 2001).

A pesquisa-ação foi aplicado ao estudo conforme o fluxograma representado na Figura 2:

Figura 2: Pesquisa-ação aplicada ao projeto de pesquisa.



Fonte: O Autor.

As etapas da pesquisa-ação representadas na Figura 2 são descritas a seguir.

1.4.2 Procedimento de coleta e análise de dados

O projeto teve início com a visita na fábrica para identificar possíveis melhorias no processo de fundição, em molde de areia verde. Nesse momento, foi verificado que algumas peças saíam com defeitos e, assim, decidiu-se quantificar e solucionar o problema. Para tanto, houve a necessidade de entender todos os possíveis defeitos que podem ser encontrados nas peças, após o processo de fundição, e as suas possíveis causas.

O levantamento do referencial teórico *Lean Six Sigma* foi essencial para o início do projeto. Isso permitiu escolher as melhores ferramentas para cada etapa do trabalho. Assim, o trabalho é construído com base na metodologia pesquisa-ação, a

qual é semelhante ao método DMAIC. Este trabalho analisou as peças produzidas no processo de fundição e, assim, foi possível identificar e caracterizar os defeitos encontrados. Para tanto, foram realizadas visitas diárias para acompanhar o processo de fundição das peças. Assim, os dados foram coletados por meio de Folhas de Verificação empregadas para analisar os defeitos encontrados em dois lotes de peças distintas.

A equipe, responsável pelo projeto, realizou reuniões com o objetivo de identificar a causa raiz dos defeitos encontrados nas peças fundidas. Nesse momento, o Diagrama de Ishikawa e os 5 porquês foram aplicados. Em seguida, localizada a causa raiz a equipe trabalhou com os 5Ws e 1H para solucionar o problema. Na sequência, a melhoria foi implementada e acompanhada para verificar se o projeto atingiu o objetivo proposto.

A meta do trabalho é identificar a causa raiz do defeito encontrado e apresentar soluções para eliminá-lo. Assim, o desempenho é medido através do número de peças com defeito fundidas por dia e por lote. O projeto contou com o apoio do responsável pela produção e dos operários da área de fundição. Além disso, as visitas na fábrica duraram um período de, aproximadamente, 3 semanas que foi o tempo de produção das peças analisadas.

1.4.3 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho foi elaborado em cinco capítulos, sendo que o primeiro capítulo é constituído por: introdução, objetivos, justificativa e metodologia. No segundo capítulo é feita uma breve descrição do processo de fundição de peças de alumínio, que será estudado e melhorado. Em seguida, no terceiro capítulo é levantado o material teórico, acerca do *Lean Six Sigma*, que é utilizado como base para o estudo das melhorias a serem realizadas. No quarto capítulo as aplicações das ferramentas teóricas são descritas e os resultados finais analisados. Por fim, o quinto capítulo é a conclusão do trabalho proposto.

2 APRESENTAÇÃO DO TEMA DE PESQUISA

Nesse capítulo é apresentado o método de fabricação empregado, pela empresa estudada, para a produção das peças em alumínio. Os procedimentos de fabricação das peças são descritos, a seguir, e serviram como base para entender o processo e, também, identificar as possíveis causas dos defeitos encontrados nas peças fundidas.

A pesquisa será embasada nas atividades realizadas em uma empresa de fundição de peças metálicas, não-ferrosas, localizada no município de São José dos Pinhais no Estado do Paraná. O processo de fundição empregado pela empresa, para a produção de peças em alumínio, bronze ou latão, é o de moldagem manual em areia verde por gravidade. Atualmente, as peças produzidas apresentam diferentes tipos de defeitos, os quais acarretam no reprocessamento das peças e, conseqüentemente, perda de 10% da matéria-prima.

2.1 PROCESSO DE FUNDIÇÃO POR MOLDAGEM EM AREIA VERDE

O método mais usual e conhecido, por produzir peças, metálicas de materiais ferrosos e não ferrosos, com qualidade e de maneira econômica, é o processo de fundição em areia verde (BALDAM; VIEIRA, 2013). Nesse processo, a areia empregada apresenta a seguinte composição: sílica, cromita ou zirconita, argila e água (MORO; AURAS, 2007). O nome “verde” é devido a água que é responsável pela umidade da areia.

A moldagem em areia verde possui vantagens e desvantagens conforme descrito da Quadro 1:

Quadro 1: Vantagens e desvantagens da moldagem em areia verde.

Vantagens	Desvantagens
Menor custo de fabricação	Necessidade de controlar a areia é maior do que nos demais métodos que usam areia
Menor tendência de distorcer a forma quando comparado com o uso de areia seca	Mais chance de surgimento de erosão para peças fundidas maiores
Rapidez para reutilizar as caixas de moldagem	Dificuldade de manter o dimensional em peças maiores
Melhor manutenção dimensional	
Menor incidência de trincas	

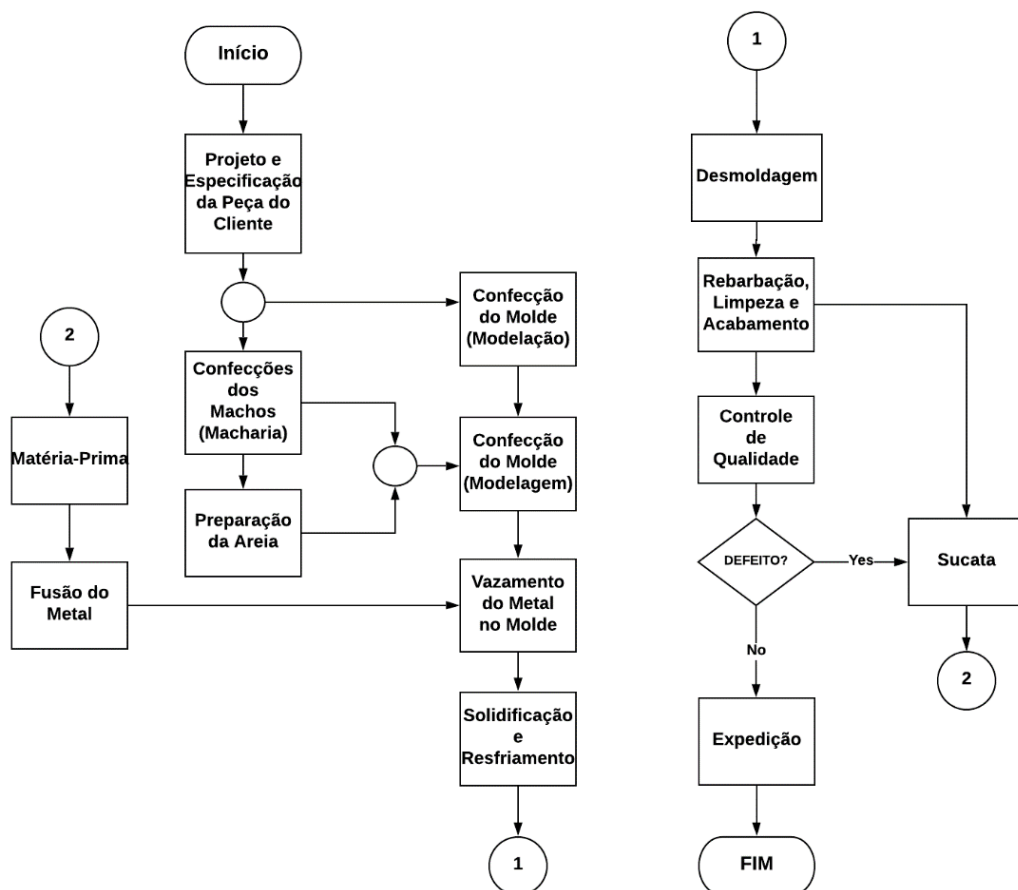
Fonte: adaptado de Tâmega apud Chiaverini (1986)

Como pode ser visto no Quadro 1 o processo de fundição em areia verde apresenta mais vantagem do que desvantagens.

2.2 FLUXOGRAMA DO PROCESSO

O fluxograma do processo de fundição por moldagem em areia verde, da empresa estudada, é ilustrado na Figura 3.

Figura 3: Processo de fundição



Fonte: o Autor

As etapas do processo de fundição das peças em alumínio são descritas a seguir.

2.2.1 Confeção do Projeto do Molde (Modelação)

No processo de modelação é criada a peça, desejada pelo cliente, que será empregada como modelo para as demais peças que serão produzidos pelo processo de fundição. Esse modelo representa o formato do componente desejado, o qual é estampado no molde de fundição (BALDAM; VIERIA, 2013). A empresa utiliza moldes em madeira. No entanto, podem ser utilizados outros materiais como alumínio, resina, aço e isopor (TÂMEGA, 2017).

2.2.2 Confeção do Molde (Moldagem)

A areia de moldação recebe a peça molde que forma uma cavidade com as características da peça a ser fundida na areia.

2.2.3 Confeção do Macho (Macharia)

O molde macho, representado pela Figura 4, é colocado dentro da cavidade formada na areia de moldação. Assim, as características internam da peça como os vazios, as reentrâncias e os furos são criados a partir desse macho (MORO; AURAS, 2007).

Figura 4: Machos confeccionados.



Fonte: o Autor.

As peças na Figura 4 são colocadas cuidadosamente nos moldes de areia verde, para que o mesmo não seja danificado.

2.2.4 Fusão do Metal

O metal a ser fundido é levado ao forno para que esse passe para o estado líquido. A matéria-prima apresenta o formato de lingotes como ilustrada na Figura 5.

Figura 5: Lingote de Alumínio.



Fonte: o Autor.

Nos fornos os lingotes são fundidos juntamente com as peças rejeitadas no controle visual.

2.2.5 Vazamento do Metal no Molde

O metal líquido é vazado no molde, o qual é preenchido pela ação da gravidade. Nessa etapa, são empregados filtros de cerâmicas para evitar que impurezas do alumínio entrem na cavidade do molde.

2.2.6 Solidificação e Resfriamento

Nessa etapa o metal líquido passa para o estado sólido. O líquido ao entrar em contato com o molde solidifica uma fina camada, a qual cresce em direção ao centro do molde (TÂMEGA, 2017).

2.2.7 Desmoldagem

No processo de desmoldagem o molde é quebrado, manualmente, e a peça é retirada. Além disso, a areia de moldagem é reutilizada após passar pelo moinho.

2.2.8 Rebarbação e Limpeza

A peça ao sair do molde apresenta canais de alimentação, massalotes e rebarbas como representado na Figura 6. Dessa forma, é feita a retirada desse excesso de metal no processo de rebarbação. Além disso, as peças podem apresentar incrustações do material do molde na peça, a qual deve ser limpa. (MORO; AURAS, 2007).

Figura 6: Peça após o desmolde.



Fonte: o Autor.

O excesso do metal retirado na rebarbação volta para o processo produtivo para a confecção de novas peças.

2.2.9 Inspeção da Peça

As peças são inspecionadas na desmoldagem da areia e, também, no final do processo de rebarbação e limpeza. A inspeção visual é o controle de qualidade das peças fundidas. As peças que são rejeitadas na inspeção visual são levadas ao forno

de fundição para a produção de novas peças. A Figura 7 ilustra peças que passaram pelo controle de qualidade.

Figura 7: Peças Aprovadas.



Fonte: a Empresa.

As peças da Figura 7 que passaram pelo controle de qualidade são enviadas ao cliente.

2.3 PROCEDIMENTOS PARA A MOLDAGEM EM AREIA VERDE

A moldagem em areia verde segue as etapas ilustradas na Figura 8 que são descritas a seguir (MORO; AURAS,2007):

Etapa 1: a superfície do modelo recebe uma camada de talco ou grafite para impedir que haja adesão da areia. Em seguida, a peça é colocada no fundo da caixa de moldar, a qual é preenchida e compactada com areia;

Etapa 2: a caixa-fundo é invertida para que o modelo fique na parte superior da caixa;

Etapa 3: a caixa-tampa é colocada sobre a caixa-fundo e os modelos do massalote e canal da descida são assentados e, assim, a caixa-tampa é preenchida e compactada com areia;

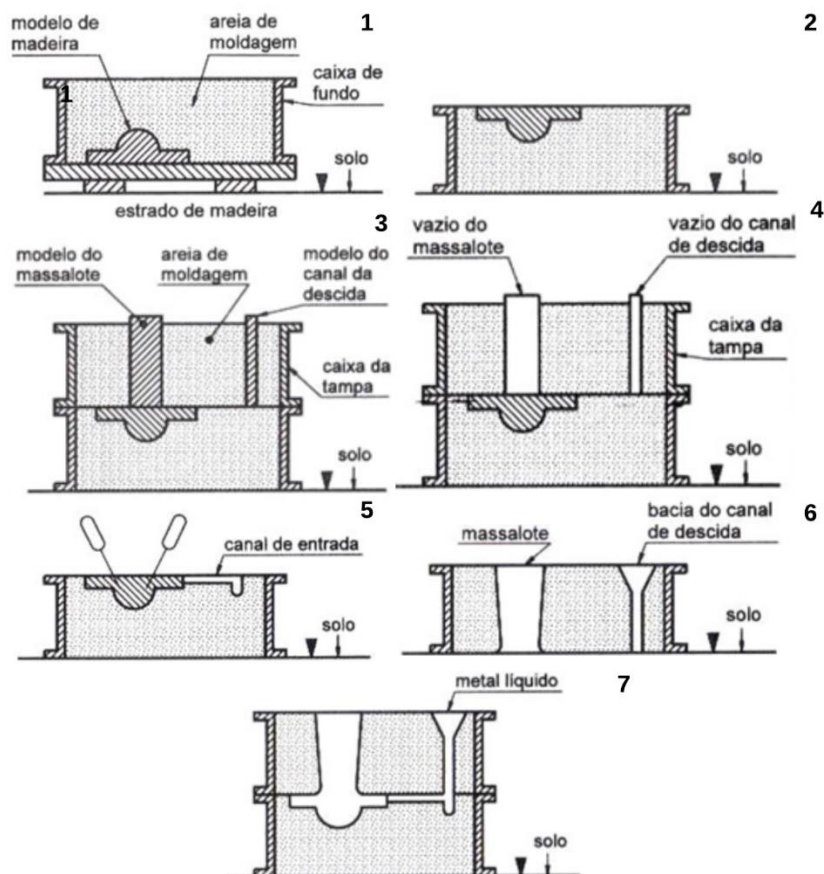
Etapa 4: as caixas são separadas após a retirada do massalote e do canal de descida;

Etapa 5: na caixa-tampa é aberto o copo de vazamento;

Etapa 6: na caixa-fundo é realizada a abertura do canal de distribuição e de entrada. Na sequência, o modelo é retirado.

Etapa 7: a caixa-tampa é colocada sobre a caixa-fundo e ambas são prendidas com presilhas. No caso de moldagem com macho é necessário colocá-lo cuidadosamente na cavidade antes do fechamento da caixa de moldagem.

Figura 8: Etapas de Moldagem.



Fonte: adaptado de MORO e AURAS (2007)

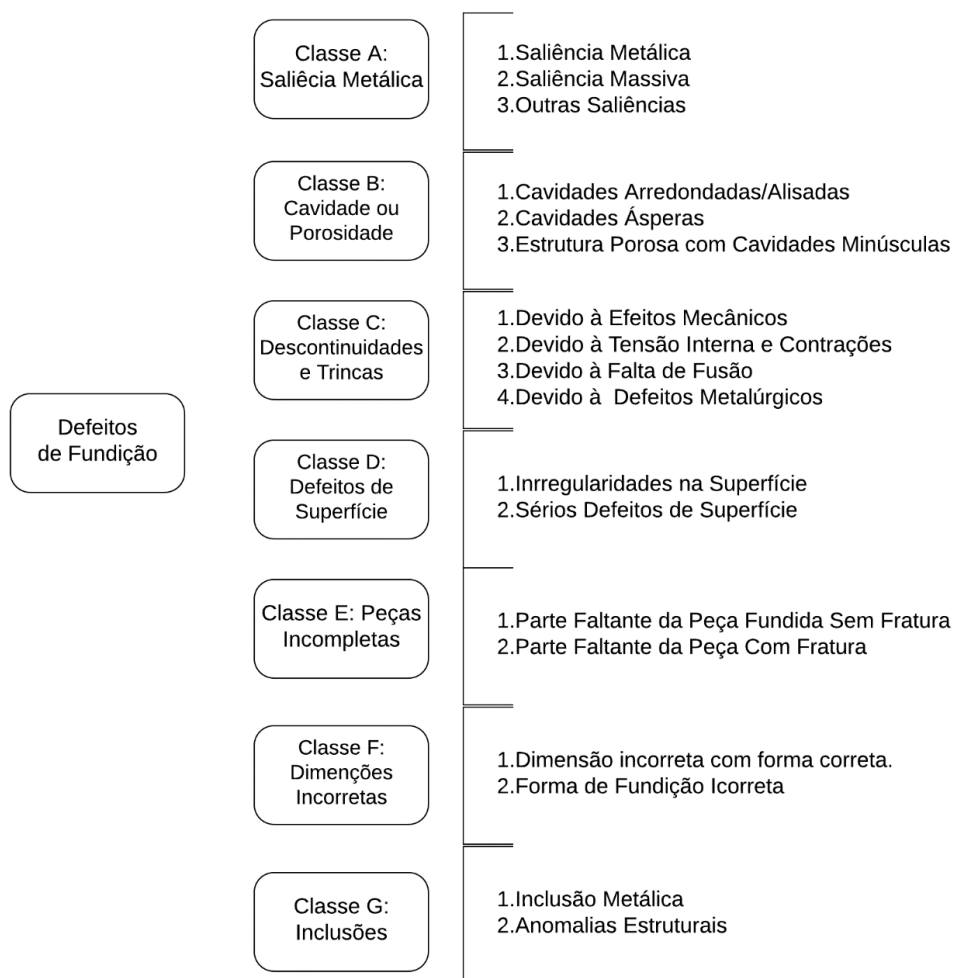
As etapas representadas na Figura 8 são realizadas manualmente pela empresa estudada.

2.4 DEFEITOS DE FUNDIÇÃO

No processo de fundição as peças metálicas podem apresentar diferentes tipos de defeitos causados por inúmeros fatores. Para isso, torna-se necessário conhecer qual é o defeito mais recorrente e achar as possíveis causas para que as melhorias sejam implementadas.

Os tipos de defeitos que podem ser encontrados no processo de fundição são representados na Figura 9:

Figura 9: Defeitos de Fundição.



Fonte: adaptado de Sata apud *International Atlas of Casting Defects* (1974)

No início do projeto foi relatado que as peças finas (com menor espessura) apresentam mais defeitos do que as peças brutas. Então, ao analisar essas peças foi

possível verificar o defeito de Classe E. Esse defeito é caracterizado por produzir peças incompletas por falta de enchimento.

O defeito por falta de enchimento ocorre quando o metal líquido não preenche totalmente o molde. As causas dessa falha podem ser a temperatura baixa do metal líquido ao vazar no molde; areia com baixa permeabilidade; dimensionamento incorreto do canal de subida e respiros e relação de canais inadequada que acarreta no enchimento lento do molde (BRAGA, 2021).

As peças rejeitadas representam perdas de mão-de-obra, energia e matéria-prima. Dessa forma, é fundamental controlar a qualidade do produto final e, para isso, a empresa precisa conhecer as causas dos defeitos encontrados.

3 REFERÊNCIA TEÓRICA LEAN SIX SIGMA

O *Lean Manufacturing* e o *Six Sigma* fazem amplo uso de ferramentas que visam a melhoria de processos produtivos. Os benefícios da união dessas metodologias são representados na Figura 10.

Figura 10: União do Lean Manufacturing e o Six Sigma.



Fonte: Werkema (2012).

Nesse capítulo são abordadas algumas ferramentas que são amplamente utilizadas nessas duas metodologias.

3.1 OS OITO DISPERDÍCIOS

Os oito desperdícios, no sistema *Lean*, são caracterizados como sendo atividades que não agregam valor ao produto final e geram custos desnecessários ao processo produtivo. Essas atividades que não geram valor agregado ao produto devem ser reestruturadas de forma a reduzir os desperdícios. Em contra partida, temos as atividades que trazem valor ao produto final. Os oito desperdícios são descritos a seguir:

- Superprodução:
Consumem espaço e capital para manter os estoques que são gerados na linha de produção. Além disso, os materiais e produtos estocados podem

sofrer avarias e tornarem-se obsoletos com o passar do tempo (JUGULUM; SAMUEL, 2008).

- **Processamento:**

São atividades consideradas desnecessárias no processamento e que não agregam valor ao produto final (JUGULUM; SAMUEL, 2008).

- **Excesso de estoque:**

Para Taiichi Ohno (1997), o excesso de estoque é o maior desperdício. Os produtos armazenados representam gastos com espaço, equipamentos e mão de obra.

- **Espera:**

Funcionários e máquinas parados esperando a próxima atividades. Esperar significa desperdiçar tempo que poderia ser utilizado para atividades que entregam valor ao produto. A espera para o produto ser processado pode representa até 90% do tempo total de sua produção (JUGULUM; SAMUEL, 2008)

- **Movimentação:**

Movimentos desnecessários que não alteram a característica final do produto. Segundo Taiichi Ohno (1997), o movimento do trabalho é aquele que agrega valor ao produto, e o fato dos operários estarem em constante movimento não significa adicionar valor ao produto final.

- **Defeitos:**

Retrabalhos de produtos fora das especificações e sucatas. Essas atividades consomem recursos que poderiam ser empregados em outras atividades.

- **Transporte:**

Toda movimentação de peças, matérias primas e trabalhos em processo que não agrega valor ao produto final e, além disso, podem acarretar em avarias quando esses recursos são deslocados dentro do processo produtivo (JUGULUM; SAMUEL, 2008).

- **Intelecto:**

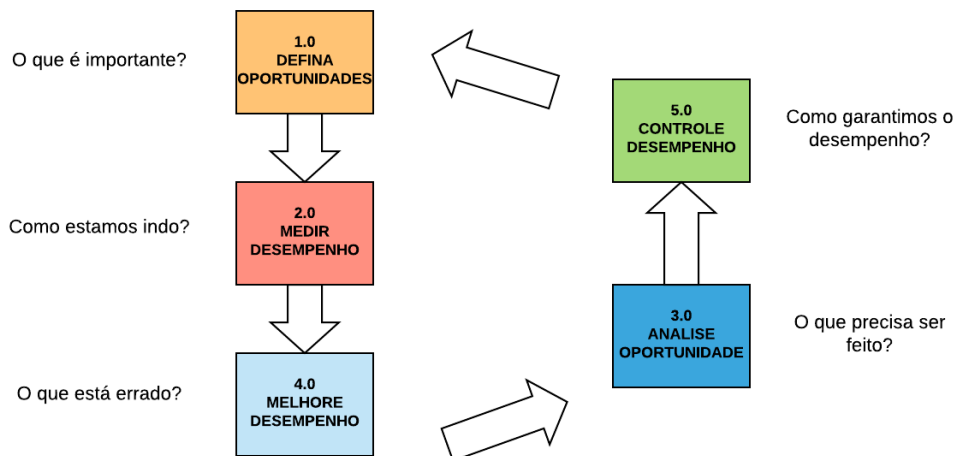
O desperdício de intelecto é marcado pela fraca interação com os funcionários, os quais não são incentivados a expor e a implementar as suas ideias (JUGULUM; SAMUEL, 2008).

Os defeitos das peças fundidas em alumínio são um exemplo dos 8 desperdícios do sistema *Lean*. Para cada peça produzida é confeccionado um molde em areia verde e, isso, demanda a maior parte do tempo do processo. Dessa forma, as peças defeituosas representam perda de mão de obra, de tempo de confecção dos moldes e de 10% do alumínio virgem por peça rejeitada.

3.2 DMAIC

O método DMAIC é o alicerce para o desenvolvimento de projetos que contribuem para que as metas estratégicas das empresas sejam atingidas (WERKEMA, 2012). As cinco etapas do método DMAIC são ilustrados na Figura 11.

Figura 11: Cinco etapas do DMAIC.



Fonte: adaptado de Mccarty, Bremer, Daniels e Gupta (2011)

A primeira etapa da metodologia do DMAIC é o D (*define*). Nessa etapa, o problema é apresentado e o objetivo a ser atingido é determinado.

Na segunda etapa M (*measure*) o sistema é medido. Para isso, o *Champion* precisa verificar se o desenvolvimento do processo está sendo acompanhado por métricas adequadas e confiáveis, as quais devem atender os objetivos do projeto (MCCARTY; BREMER; DANIELS; GUPTA, 2011).

A próxima etapa é A (*analyze*) que consiste em analisar o processo atual para identificar possíveis barreiras para o desenvolvimento do projeto de melhoria. Nessa etapa, os dados devem ser compreendidos e análises exploratórias e descritivas podem ser úteis, assim como, ferramentas estatísticas (PYZDEK, 2003).

Na etapa I (*improve*) são estudadas as possíveis soluções para o problema. Nesse momento, a melhoria pode ser justificada através de métodos estatísticos (PYZDEK, 2003).

A etapa final C (*control*) é o controle do novo sistema implementado. Para isso, o processo deve ser documentado e padronizado. Nessa etapa é verificada a meta estipulada no início do projeto com o estado atual do processo, após a implementação da melhoria (WERKEMA, 2012).

3.2 PROJECT CHART

O Project Chart é um documento que visa alinhar o projeto a ser implementado na empresa. Esse documento deve apresentar as metas, objetivos, benefícios, escopo e os resultados do projeto a ser implementado (KUBIAK; BENBOW, 2009).

3.3 PLANO DE COLETA DE DADOS E 5 Ws E 1H

O Plano de Coleta de Dados tem como objetivo planejar a coleta de dados e, o mesmo, pode ser construído nos moldes do 5Ws e 1H (WERKEMA, 2012). O objetivo do projeto é traçado à medida que os 5 Ws e 1H (*How*) são respondidos, os quais são listados a seguir:

- Who (Quem)?
- What (O que)?
- Where (Onde)?
- When (Quando)?
- Why (Por quê)?
- How (Como)?

3.4 FOLHAS DE VERIFICAÇÃO

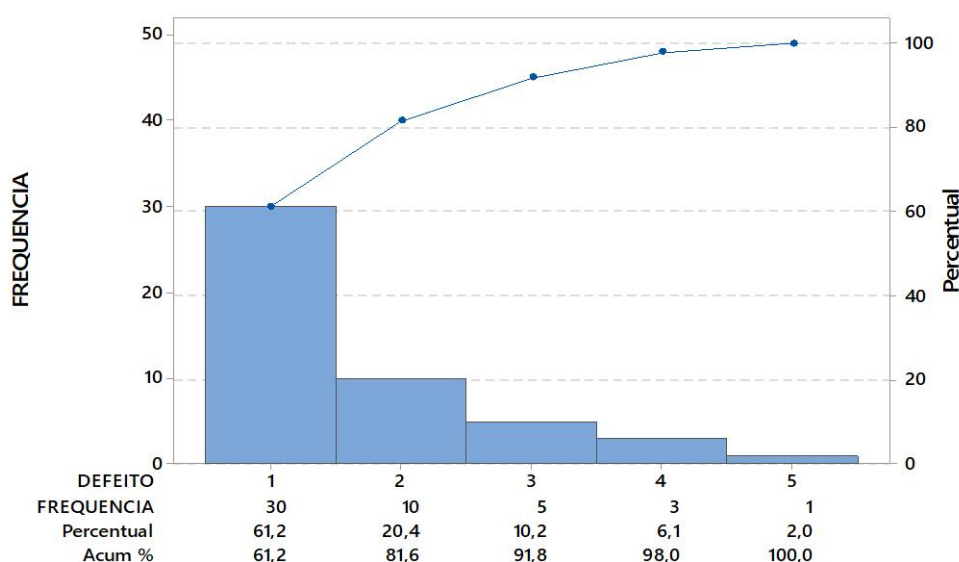
A coleta e o registro dos dados são facilitados quando há o emprego de Folhas de Verificação impressas, as quais apresentam as características do problema a ser analisado (WERKEMA, 2012). As Folhas de Verificação permitem construir uma lista

com os defeitos encontrados em determinado produto e, dessa forma, é possível anotar os dados coletados de maneira eficaz e eficiente.

3.5 DIAGRAMA DE PARETO

O Diagrama de Pareto é uma ferramenta poderosa que permite definir as oportunidades de melhorias no início do projeto (MCCARTY; BREMER; DANIELS; GUPTA, 2011). Essa ferramenta possibilita visualizar graficamente a contagem ou frequência dos dados, os quais são ilustrados em gráficos de barras organizadas em ordem decrescente. A figura 12 representa o Diagrama de Pareto:

Figura 12: Diagrama de Pareto.



Fonte: o Autor

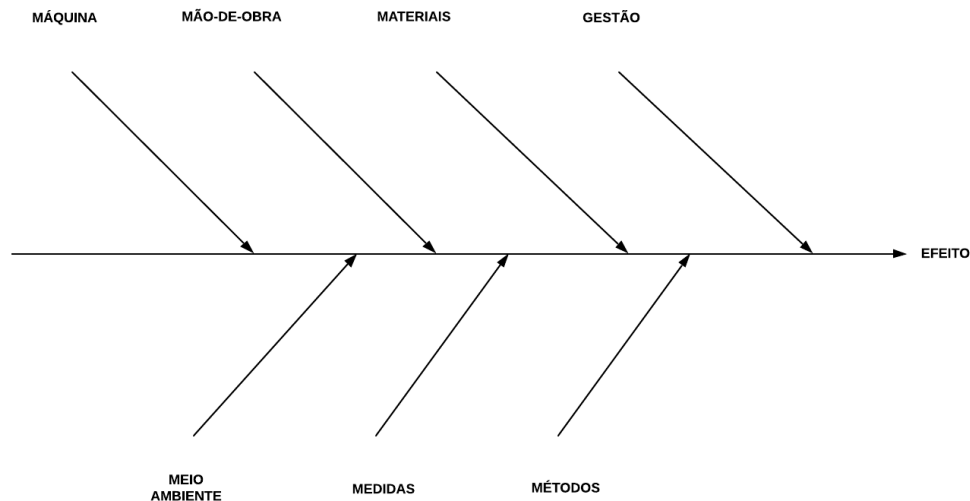
A maior barra representada no Diagrama de Pareto pode ser uma oportunidade de melhoria no processo.

3.6 DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO

O Diagrama de Causa e Efeito foi desenvolvido por Kaoru Ishikawa (1985) e, assim, essa ferramenta é conhecida, também, por Diagrama de Ishikawa ou Espinha

de Peixe devido ao seu formato. Na Figura 13 é possível verificar as possíveis causas de um efeito:

Figura 13: Diagrama de Ishikawa.



Fonte: adaptado de Kubiak e Benbow (2009)

Esse diagrama permite analisar visualmente as causas que acarretam determinado efeito.

3.7 BRAINSTORMIG

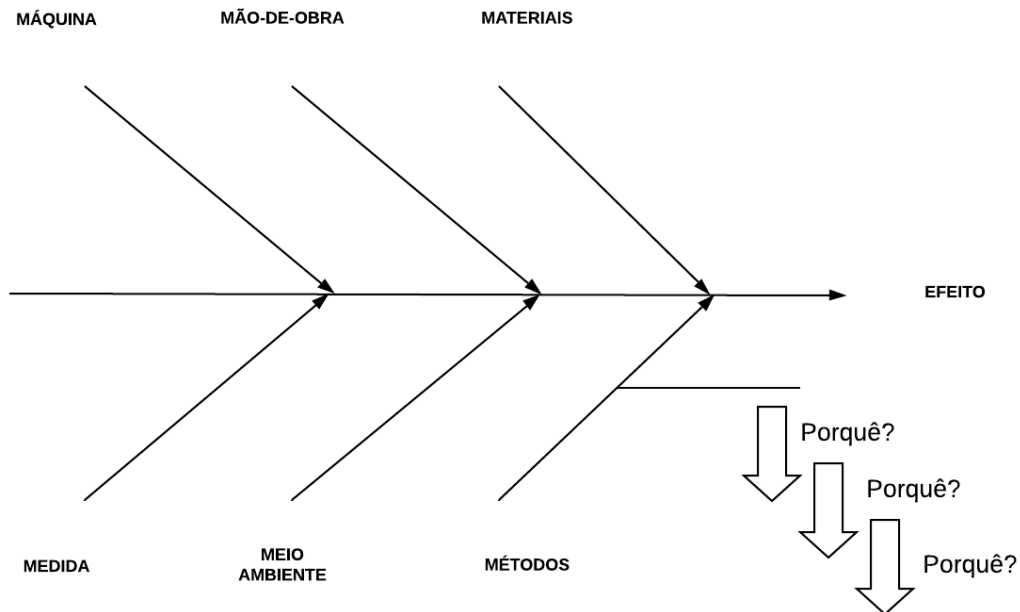
O *Brainstormig* é uma ferramenta utilizada para solucionar os problemas, os quais são discutidos pelos membros responsáveis pelo projeto. Nesse momento, as contribuições de cada membro da equipe, a respeito do problema, são analisadas e soluções são propostas (KUBIAK; BENBOW, 2009). É muito importante que todos os membros participem e deem as suas opiniões acerca do problema.

3.8 CINCO PORQUÊS

Os 5 porquês é uma técnica utilizada para analisar as causas de um determinado problema. Essa ferramenta consiste em perguntar o “Porquê?” cinco vezes e, assim, chegar a uma análise mais aprofundada do problema (MCCARTY;

BREMER; DANIELS; GUPTA, 2011). Os 5 porquês e o Diagrama de Ishikawa podem trabalhar juntos conforme ilustrado na Figura 14:

Figura 14: União 5 porquês e Ishikawa.



Fonte: O Autor.

A Imagem 14 representa como a causa de determinado efeito pode ser analisada mais especificamente com a ferramenta dos 5 porquês.

3.9 PADRONIZAÇÃO DE PROCESSOS

Os processos padronizados permitem reduzir a variabilidade dos mesmos (WERKEMA, 2017). Diferentes caminhos podem ser seguidos para produzir um determinado produto, porém há procedimentos que apresentam rotas alternativas mais vantajosas que outras.

O processo de padronização é dividido da seguinte maneira (WERKEMA, 2017):

1. Selecionar o processo a ser padronizado para que as atividades básicas e rotineiras sejam descritas.

2. Avaliar com a equipe responsável pelo processo os procedimentos que podem ser otimizados.
3. Elaborar o Procedimento Operacional Padrão após a verificação dos melhores procedimentos operacionais.
4. Tornar público a equipe envolvida no processo dos novos padrões adotados.
5. Propiciar treinamentos os envolvidos para que a atividade seja realizada conforme os procedimentos documentados.
6. Fiscalizar o processo de acordo com o proposto no Procedimento Operacional Padrão e praticar a melhoria contínua.

3.10 SÍNTESE E CONCLUSÃO

Nesse capítulo, há uma breve descrição dos oito desperdícios no sistema *Lean*. Além disso, as ferramentas *Lean Six Sigma* são descritas, as quais podem ser utilizadas para identificar a causas raízes de problemas e, também, achar soluções para os mesmos.

No próximo tópico as ferramentas *Lean Six Sigma* são empregadas para identificar a causa raiz dos defeitos encontrados nas peças após o processo de fundição. Dessa forma, a teoria apresentada é utilizada como base para que os resultados na melhoria do processo sejam alcançados.

4 APLICAÇÃO DO REFERENCIAL TEÓRICO

Nesse capítulo são aplicadas algumas ferramentas, da metodologia *Lean Six Sigma*, na resolução dos defeitos das peças após o processo de fundição. O projeto de melhoria seguiu as etapas do DMAIC conforme descritos a seguir.

4.1 FASE DEFINIR (DEFINE)

Na fase *define*, foi apontado o problema, o qual é a produção de peças defeituosas no processo de fundição em areia verde. Nessa etapa, foi desenvolvido o *Project Chart* representado na Figura 15.

Figura 15: Project Chart.

PROJECT CHART				
Descrição do problema				
A empresa vem apresentando peças com defeitos, as quais são rejeitadas e reprocessadas. Essas peças são novamente fundidas e é perdido 10% da matéria-prima virgem nesse processo.				
Definição da meta				
Identificar as causas dos defeitos e propor melhorias para o processo de fundição.				
Avaliação do histórico do problema				
A empresa não possui o histórico dos problemas. Dessa forma, optou-se por iniciar a coleta de novos dados.				
Restrições e suposições				
Será necessário que as peças sejam separadas para que a equipe possa analisa-las no final do turno.				
Equipe de trabalho				
Flávio (estudante do Curso Lean Six Sigma)				
Empregado A (Responsável pela produção)				
Responsabilidade dos membros e logística da equipe				
Empregado A: responsável por separar as peças defeituosas e reportar os defeitos encontrados.				
Frequência das reuniões		Local		Duração
Diária		Presencial		30 minutos
Cronograma preliminar				
DEFINE	MEASURE	ANALYSE	IMPROVE	CONTROL
29/03/2021	01/04/2021	15/04/2021	17/04/2021	19/04/2021

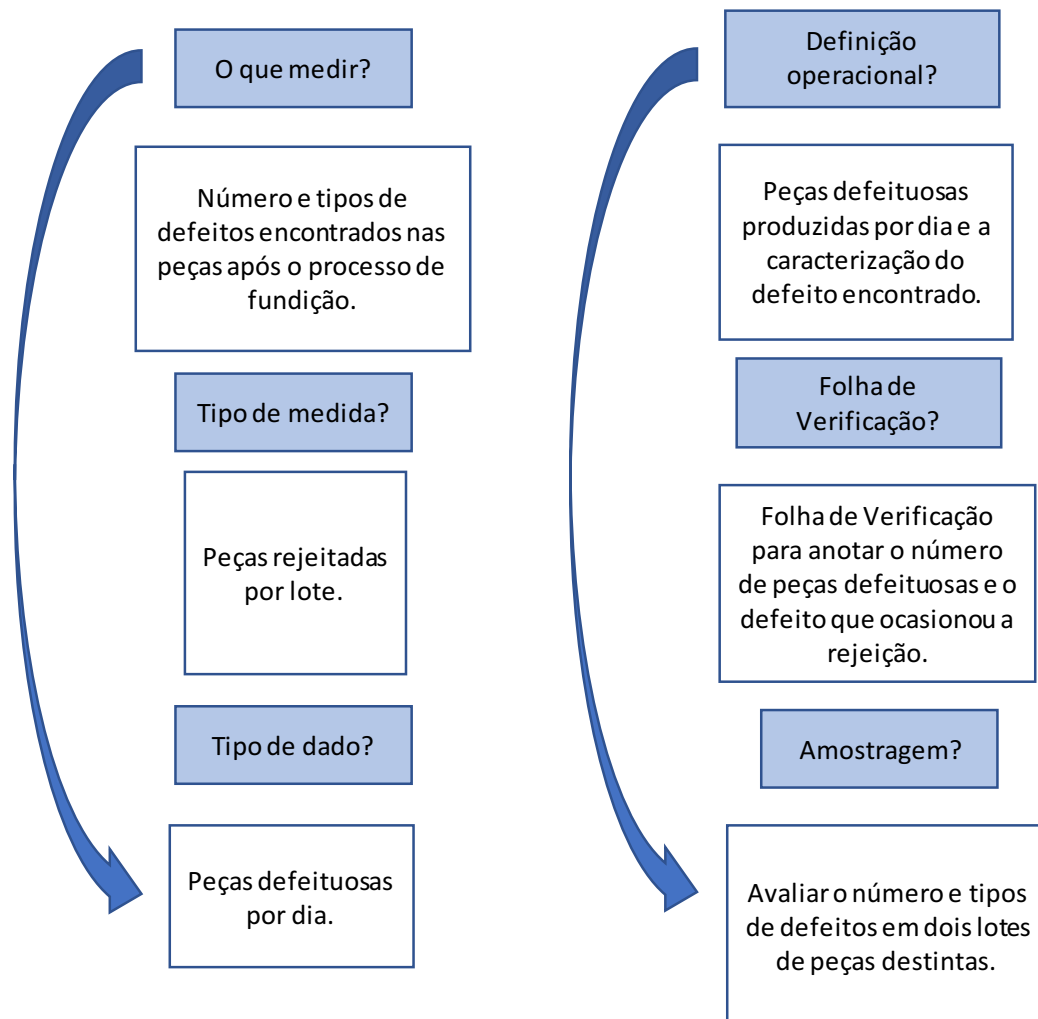
Fonte: o Autor

A elaboração do *Project Chart* foi fundamental para o planejamento das próximas etapas do projeto.

4.2 MEDIR (MEASURE)

Na fase *measure*, foi optado por coletar novos dados, pois a empresa não possui os dados históricos do número e tipo de defeitos encontrados no processo de fundição. Dessa forma, foi feito um Plano de Coleta de Dados, representado na Figura 16.

Figura 16: Plano de Coletas de Dados.



Fonte: o Autor

Após a conclusão do Plano de Coleta de Dados, optou-se por utilizar Folhas de Verificação com o objetivo coletar as informações necessárias sobre o processo. Essa ferramenta é ilustrada na Figura 17.

Figura 17: Peça Rejeitada do Tipo A e B devido a Falha

CONTROLE DE QUALIDADE PROCESSO DE FUNDIÇÃO										
		Dia								
		Hora								
DEFEITOS			1	2	3	4	5	6	7	8
A	PROTUBERÂNCIA METÁLICA	1								
	Sem mudança da forma geométrica da peça	2								
A.1	Rebarba Metálica	3								
A.2	Veimento	4								
A.3	Rebarba de Ângulo	5								
	Com mudança da forma geométrica da peça	6								
A.4	Levantamento do Molde	7								
A.5	Erosão de Areia	8								
A.6	Macho Quebrado	9								
B	CAVIDADES	10								
B.1	Porosidades/Gases	11								
B.2	Rechupes (Chupagem)	12								
B.2.1	Rechupes diversos ou cavidades em forma de vírgula	13								
B.2.2	Rechupes Típicos	14								
C	TRINCAS (RUPTURAS/FRATURAS)	15								
C.1	Trinca a Frio	16								
C.2	Trinca a Quente	17								
D	SUPERFÍCIES DEFEITUOSAS	18								
D.1	Esmagamento	19								
D.2	Expansão da Areia (Chaga de Expansão)	20								
E	PEÇAS INCOMPLETAS	21								
E.1	Falta de Enchimento	22	1	1		1	2	1		
E.2	Falta de Metal (Vazamento interrompido/arriscado)	23								
E.3	Molde Vazado	24								
F	DIMENSÕES OU FORMA INCORRETA	25								
F.1	Deformação Devido à contração	26								
G	INCLUSÕES	27								
G.1	Inclusão de Escória	28								
G.2	Produto usado no banho metálico	29								
	Massa peça fundição (g)	30	2600	2600	2600	2400	2400	2400	2400	
	Massa peça após acabada (g)	31	1200	1200	1200	800	800	800	800	
	A peça foi rejeitada?	32	1	1	0	1	2	1	0	
	TOTAL DE PEÇAS PRODUZIDAS:		43	60	40	10	10	11	12	

Fonte: o Autor

Após o preenchimento da Folha de Verificação constatou-se que a fábrica produziu 163 peças do tipo A e, desse total, 2 (1,4%) peças foram rejeitadas. Nesse caso, as duas peças estavam incompletas conforme representado na Figura 18. Cada

peça defeituosa representa uma perda de 260 gramas alumínio ou cerca de 22% da massa de uma peça boa.

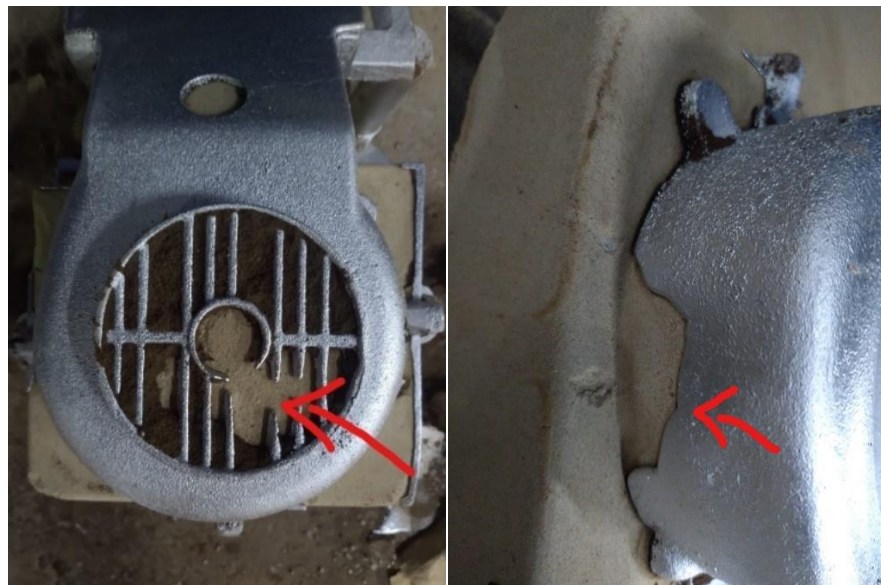
Figura 18: Peça Rejeitada do Tipo A devido a Falha.



Fonte: o Autor.

No lote de 30 peças do tipo B foram rejeitadas 4 (13%) peças. A rejeição é maior nesse tipo de peça devido à forma geométrica da mesma. Nesse caso, são perdidas 240 gramas de alumínio por peça e, isso, representa 30% da massa de uma peça perfeita. Os defeitos encontrados na peça Tipo B estão representados na Figura 19.

Figura 19: Peça Rejeitada do Tipo B devido a Falha.



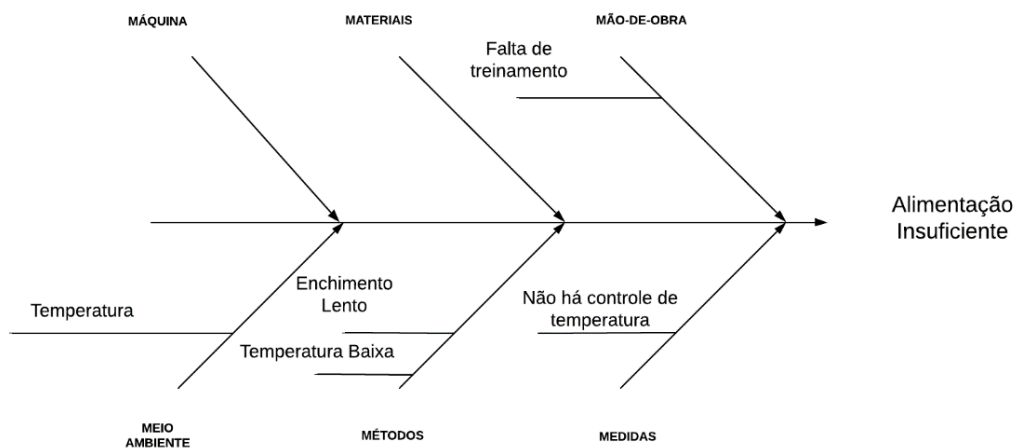
Fonte: o Autor.

A Figura 19 ilustra a falha de preenchimento em dois pontos distintos da peça do tipo B. A temperatura é a principal causa por esse tipo de falha.

4.3 ANALISAR (ANALYSE)

Na etapa *analyse*, o Diagrama de Causa e Efeito e os 5 porquês foram empregados para localizar a causa raiz do problema. O efeito é caracterizado pelo tipo de falha que leva a rejeição da peça. No caso da empresa estudada o efeito é a alimentação insuficiente do molde. Assim, o Diagrama de Ishikawa foi construído sobre esse defeito e as possíveis causas do mesmo foram colocadas no diagrama conforme ilustrado na Figura 20.

Figura 20: Diagrama de Ishikawa para os defeitos A e B.



Fonte: o Autor.

O Diagrama de Ishikawa permitiu identificar as principais causas, as quais são descritas na sequência.

4.3.1 Meio Ambiente

4.3.1.1 Temperatura ambiente

Há transferência de calor do metal líquido com o meio ambiente e, isso, ocasiona o resfriamento do alumínio dentro da panela de fundição. No inverno a

tendência é que o metal esfrie mais rápido que no verão. Além disso, no processo de vazamento são utilizadas duas panelas uma pequena e uma grande. A temperatura da panela grande tende a diminuir mais rápido do que a temperatura da panela pequena.

4.3.2 Método

4.3.2.1 Enchimento Lento da cavidade do molde com o metal líquido

A vazão de enchimento interfere na temperatura do metal líquido no interior da cavidade do molde. O enchimento lento faz com que o metal esfrie e, conseqüentemente, não preencha toda a cavidade do molde. Além disso, a vazão de enchimento depende dos funcionários, pois o processo é manual.

4.3.2.2 Temperatura Baixa

O metal fundido na panela está com a temperatura de vazamento baixa. Nesse caso, há transferência de calor entre o metal fundido e o meio ambiente e, também, não há controle da temperatura no momento que o material é vazado no molde. Na panela grande o alumínio líquido tende a ficar mais tempo fora do forno e, isso, faz com que a temperatura diminua e interfira no vazamento da peça.

4.3.3 Mão de obra

4.3.3.1 Falta de treinamento

Os funcionários preenchem em tempos diferentes o molde e, isso, pode ser uma causa do defeito de falta de enchimento. Não há um tempo padrão para que o molde seja preenchido no tempo correto.

4.3.4 Medida

4.3.4.1 Não há controle da temperatura

Não é monitorada a temperatura no momento do vazamento e sua interferência na qualidade das peças fundidas. Porém, a medição durante o vazamento não é uma boa opção de controle, pois consumiria tempo do processo.

4.4 IMPROVE (MELHORAR)

Na etapa de *improve*, a ferramenta 5 Ws e 1H foi empregada de acordo com as causas identificadas na etapa *analyse*. A etapa anterior permitiu constatar que a temperatura era a principal causa dos defeitos encontrados nas peças em alumínio. Dessa forma, ficou estabelecido que os procedimentos de fundição seriam melhorados para que não houvesse mais perdas de calor do alumínio fundido para o meio ambiente.

Assim, foi possível planejar a melhor forma de atacar a causa raiz do problema de maneira simples e rápida como representado abaixo:

4.4.1 *Who* (Quem)?

O responsável pela produção será encarregado de vistoriar a melhoria que será implementada no processo de fundição.

4.4.2 *What* (O que)?

A temperatura do metal líquido nas panelas precisa ser controlada para que o metal vaze no molde na temperatura correta. Porém, esse controle precisa ser feito de maneira simples.

4.4.3 *Why* (Por quê)?

Foi verificado através do Diagrama de Ishikawa e *Brainstormig* que a causa do problema era a baixa temperatura de vazamento. A equipe chegou a essa conclusão, pois a última peça a ser vazada apresentava problema de falta de enchimento.

4.4.4 *Where* (Onde)?

No local onde é vazado o metal para preenchimento dos moldes. Não foi alterado o espaço onde é realizado o enchimento das peças.

4.4.5 *When* (Quando)?

No processo de vazamento do metal líquido nos moldes para a fabricação das novas peças. Essa metodologia deverá ser aplicada nas peças finas, as quais apresentam o problema de falta de enchimento.

4.4.6 *How* (Como)?

No vazamento do metal líquido são utilizadas duas painelas uma pequena e outra grande. A panela pequena apresenta menos perda de calor para o meio ambiente externo do que a panela grande. Assim, foi sugerido a utilização de duas painelas pequenas para preencher os moldes.

4.5 CONTROLAR (CONTROL)

Na etapa *control*, o procedimento padrão de utilizar uma panela pequena e outra grande foi substituído por duas painelas pequenas. Assim, foram fundidas as últimas 23 peças, em dois dias de produção, a partir do novo método.

No primeiro dia, a última peça, das 11 produzidas, apresentou defeito, pois essa foi a última a ser fundida no dia. Dessa forma, o resto do alumínio líquido que estava dentro do forno estava com a temperatura abaixo da recomendada para a fundição e, isso, foi considerado pela equipe como sendo a causa do defeito.

No segundo dia, as 12 peças foram produzidas dentro dos padrões. Isso ocorreu porque as peças foram as primeiras a serem produzidas e, assim, a temperatura do alumínio estava dentro da faixa de temperatura recomendada.

As peças do tipo B apresentaram rejeição de 10% e 20%, no primeiro e no segundo dia de produção, respectivamente. Após a substituição das painéis, no terceiro dia, houve uma rejeição de 9% das peças. Por fim, os defeitos foram eliminados, no quarto dia, com a mudança das painéis e com a prioridade de fundição das peças do tipo B.

Dessa forma, verificados os benefícios do novo método de fundição ficou determinado que as novas peças serão produzidas de acordo com o novo método. Porém, o controle da temperatura continuará a ser realizada indiretamente através do controle visual das peças fundidas.

5 CONCLUSÃO

A melhoria implementada atendeu com os objetivos propostos no trabalho. Foi encontrada uma solução simples para o problema, o qual foi resolvido com a substituição da panela grande por uma pequena e a prioridade das peças finas no processo produtivo. As ferramentas *Lean Six Sigma* permitiram localizar a causa raiz do problema rapidamente e, isso, mostra como essas ferramentas são poderosas.

A substituição das painelas não foi o suficiente para eliminar o defeito da última peça, das 11 produzidas, no primeiro dia, após melhoria do processo. No entanto, foi verificado que as peças mais finas necessitam ser fundidas primeiro, pois a temperatura do alumínio está dentro dos padrões recomendados. Dessa forma, a utilização de duas painelas pequenas e, assim como, a prioridade no processo de fundição são determinantes para eliminar os defeitos por falta de enchimento. As 12 peças, produzidas no segundo dia, após melhoria do processo, foram fabricadas com o método novo e com prioridade e, isso, mostrou resultados positivos.

O total de perdas de alumínio evitado no último dia de produção foi de, aproximadamente, 432 gramas de alumínio, para as peças do tipo B, considerando uma média de rejeição de 15% dessas peças.

Há a necessidade de controlar a temperatura do forno, durante o processo de fundição, para que seja evitado esse tipo de defeito, porém como ainda não há controle da temperatura foi necessário mudar o método de fundição e priorizar a produção das peças finas.

5.1 DIFICULDADES ENCONTRADAS

As dificuldades encontradas na execução do trabalho foram o desconhecimento sobre o processo de fundição, em areia verde, e as causas dos defeitos encontrados nas peças fundidas em alumínio. Nesse contexto, a pesquisa bibliográfica foi essencial para conhecer o processo produtivo e os tipos de defeitos que podem ocorrer nas peças fundidas. O apoio do responsável pela produção, também, foi fundamental para descrever o processo e as variáveis que afetam na qualidade das peças durante a fundição. Assim, foi possível produzir peças livres de defeitos.

5.2 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Uma proposta para os trabalhos futuros é controlar a temperatura durante todo o processo de fundição. Dessa forma, a empresa poderá identificar a temperatura ótima para a fundição e, assim, evitará a produção de outras peças defeituosas.

REFERÊNCIAS

BALDAM, R. L.; VIEIRA, E.A. **Fundição: Processos e tecnologias correlatas**. 1. Ed. São Paulo: Érica, 2013.

BRAGA, Wendel; SILVA, A. Carlos; ALVES, L. H. Dias. **Stack Moldink: Uma solução para melhoria de qualidade e produtividade na produção de peças de pequeno porte e grandes séries fundidas em moldes de areia**. In Tecnologia em Metalurgia e Materiais-ABM. São Paulo. n 4, 2005.

BRAGA, Arnaldo F. Junior. **Defeitos em peças fabricadas pelo processo de fundição**. In. II Workshop LABMAT da área de fundição. Piracicaba. Disponível em:< <http://www.jmmsassessoria.com.br/upload/files/defeitos-em-pecas-fabricadas-pelo-processo-de-fundicao.pdf>> acesso em: 05 abril. 2021.

CHIAVERINI, V. **Tecnologia mecânica: processos de fabricação e tratamento**. 2. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1986. v. 3.

DOMINGUES, João Pedro Diogo. **Aplicação de ferramentas Lean e Seis Sigma numa indústria de sistemas de fixação**. 2013. 183 p. Dissertação (Mestre em Engenharia e Gestão Industrial) -Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2013. Disponível em: <https://run.unl.pt/bitstream/10362/11177/1/Domingues_2013.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2021.

GOSLING, M. SOUZA, B. B. P.; ARAÚJO, G. C. D. **Dimensões da Qualidade de Serviços, Satisfação e Lealdade: Um Modelo Teórico**. Fortaleza: XXVI ENGEPE, 2006.

JUGULUM, R.; SAMUEL, P. **Design for Lean Six Sigma: A Holistic Approach to Design and Innovation**. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2008.

KUBIAK T.M.; BENBOW D. W. **The Certified Six Sigma Black Belt Hand Book**. ASQ Quality Press, 2009.

MCKAY, J.; MARSHALL, P. **The dual imperatives of action research**. Churchlands: Edith Cowan University, 2001. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/220437083_The_dual_imperatives_of_action_research>. Acesso em: 03 dez. 2020.

MCCARTY, T.; BREMER, M.; DANIELS, L.; GUPTA, P. **The Six Sigma Black Belt Handbook**. New York: McGraw-Hill Companies, 2011.

MORO, N; AURAS A. P. **Processos de Fabricação. Florianópolis: CFET-SC. 2007**.Disponível em: < <http://norbertocefetsc.pro.br/downloads/fundicao.pdf>>. Acesso em 01 de abril de 2021.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção: Além da Produção em Larga Escala**. Bookman, 1997.

PYZDEK, T. **The Six Sigma Handbook: A Complete Guide for Green Belts, Blacks Belts, and Managers at All Levels**. The McGraws-Hill Companies, Inc, 2003.

SATA, A. **A Novel Web-based System for Casting Defect Analysis**. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/266967562_A_Novel_Web-based_System_for_Casting_Defect_Analysis>. Acesso em 13 de abril de 2021.

TÂMEGA, F. **Fundição de Processos Siderúrgicos**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A, 2017.

THIOLLENT, M. **Pesquisa-ação nas organizações**. São Paulo: Atlas, 1997.

WERKEMA, C. **Criando a Cultura Lean Seis Sigma**. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2012.

WERKEMA, C. **A Importância da Padronização**. Banas Qualidade, 2017. Disponível em: <https://www.banasqualidade.com.br/seis-sigma/2017/06/a-importancia-da-padronizacao.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2021.