

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

AFFONSO DE OLIVEIRA MUNHOZ MACHADO

**UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS DA QUALIDADE PARA A ANÁLISE DE
REFUGO EM UMA FUNDIÇÃO**

PATO BRANCO

2022

AFFONSO DE OLIVEIRA MUNHOZ MACHADO

**UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS DA QUALIDADE PARA A ANÁLISE DE
REFUGO EM UMA FUNDIÇÃO**

Use of quality tools for scrap analysis in a foundry

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador(a): Prof. Dr. Fabio de Freitas Lima

Pato Branco

2022



Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

AFFONSO DE OLIVEIRA MUNHOZ MACHADO

**UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS DA QUALIDADE PARA A ANÁLISE DE
REFUGO EM UMA FUNDIÇÃO**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador(a): Prof. Dr. Fabio de Freitas Lima

Data de aprovação: 24/junho/2022

Fabio de Freitas Lima
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Paulo Cezar Adamazuck
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Vitor Baldin
Doutorado
Pontifícia Universidade Católica

Pato Branco

2022

Gostaria de dedicar esse trabalho aos meus pais Roberto e Simone, meus irmãos Ricardo e Leônidas e toda minha família que sempre me apoiaram. A minha namorada Camila que sempre me ajudou e me apoiou. A meu orientador Fabio Lima que sempre soube me orientar. E aos colegas da empresa que me ajudaram muito.

AGRADECIMENTOS

. Primeiramente gostaria de agradecer ao meus pais Roberto e Simone que sempre me apoiaram e deram conselhos para sempre seguir em frente e aos meus irmãos Ricardo e Leônidas que sempre me apoiaram. E toda minha família que sempre me ajudou positivamente.

Gostaria de agradecer a minha namorada Camila, sempre esteve ao meu lado e me ajudou muito em todo esse processo. Muito obrigado.

Gostaria de agradecer o meu orientador Fabio Lima, que sempre quando precisei de ajuda e conselho ele estava lá. Muito obrigado

Meus agradecimentos a o corpo docente da UTFPR e a meus colegas de faculdade.

Agradecer aos meus colegas da empresa que me ajudaram com informações e conhecimentos principalmente para o Matheus Vieira, Evandro Hoepers e ao Fabio Dumke, que me ajudaram muito na pesquisa e informações da peça estudada. Muito obrigado.

RESUMO

Esta pesquisa apresenta uma análise de identificação e comprovação de possíveis causas, que estejam levando ao alto percentual de refugo em dois blocos de motor em uma empresa de fundição. Apresenta-se uma abordagem prática onde através da metodologia PDCA e ferramentas da qualidade é possível analisar e priorizar defeitos. Identifica-se que o bloco de 6 cilindros tem 34% de seus refugos devido ao um vazamento na sua inspeção final, revelado através do ensaio não destrutivo de líquido penetrante. Após análise de material, comprova-se inclusão de óxido como causador do vazamento. Com auxílio do mapa de processos verifica-se todos os fatores, relacionados aos processos de macharia, fusão, vazamento e moldagem. Utiliza-se a matriz de priorização para averiguar os fatores mais impactantes na geração do óxido. Após realizou-se um estudo individual para cada fator, constatou-se causas sem ações tomadas, onde pode-se atuar para diminuição do defeito e causas experimentalmente comprovadas onde temos ações efetivas que podem ser replicadas para outros processos.

Palavras-chave: Ferramentas da qualidade; refugo; Pareto; Ishikawa; inclusão de óxidos.

ABSTRACT

This research presents an analysis of identification and proof of possible causes, which are leading to the high percentage of scrap in two engine blocks in a foundry company. A practical approach is presented where through the PDCA methodology and quality tools it is possible to analyze and prioritize defects. It is identified that the 6-cylinder block has 34% of its rejects due to a leak in its final inspection, revealed through the non-destructive liquid penetrant test. After material analysis, the inclusion of oxide as the cause of the leak is confirmed. With the aid of the process map, all factors related to the processes of molding, melting, casting and molding are verified. The prioritization matrix is used to determine the most impacting factors on oxide generation. After an individual study was carried out for each factor, causes without actions taken were found, where one can act to reduce the defect and experimentally proven causes where we have effective actions that can be replicated for other processes.

Keywords: Quality tools; scrap; Pareto; Ishikawa; oxide inclusion.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Componentes da qualidade total	17
Figura 2 - Diagrama de cauda e efeito	19
Figura 3 - Exemplificação do gráfico de Pareto.....	20
Figura 4 - Imagem de um modelo de fundição	22
Figura 5 - Imagem de um molde de fundição.....	22
Figura 6 - Imagem de um macho de fundição.....	23
Figura 7 - Vazamento de metal liquido	23
Figura 8 - Máquina de desmoldagem	24
Figura 9 - Rebarbas metálicas.....	26
Figura 10 - Imagem de veiaamentos	26
Figura 11 - Imagem da erosão de areia	27
Figura 12 - Cavidades devido aos gases.....	28
Figura 13 - Rechupes Típicos.....	29
Figura 14 - Expansão da areia.....	31
Figura 15 - Inclusões de escória	32
Figura 16 - Ciclo PDCA	33
Figura 17 - Exemplo diagrama causa e efeito para processos de fundição	34
Figura 18 - Exemplo de causa e subcausa.....	35
Figura 19 - Exemplo de diagrama e efeito para uma segunda verificação.....	36
Figura 20 - Ishikawa por processo.....	40
Figura 21 - Ishikawa completo bloco 4 cilindros	41
Figura 22 - Ishikawa completo bloco 6 cilindros	41
Figura 23 - Imagens microscópicas do defeito de inclusão	43
Figura 24 - Croqui com apontamento de regiões do defeito	44
Figura 25 - Bloco com aplicação de liquido penetrante e região de análise metalográfica.....	45
Figura 26 – Dados estatísticos da amostra de PPM do bloco 6 cilindros	46
Figura 27 – Dados estatísticos da amostra de PPM do bloco 6 cilindros	47
Figura 28 – Mapa de processos macharia.....	48
Figura 29 – Continuação mapa de processos macharia.....	49
Figura 30 – Mapa de processos de moldagem	50
Figura 31 – Mapa de processos de fusão / vazamento	51

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Exemplo do gráfico de Pareto	35
Gráfico 2 - Pareto para defeitos do bloco 6 cilindros	42
Gráfico 3 - Pareto para defeitos do bloco 4 cilindros	42
Gráfico 4 - Pareto para regiões de ocorrência do defeito.....	44
Gráfico 5 - Gráfico de séries temporais para analisar o PPM do bloco 6 cilindros	46
Gráfico 6 - Gráfico de séries temporais para analisar o PPM do vazamento do bloco 6 cilindros.....	47
Gráfico 7 - Gráfico de séries temporais para analisar o PPM do vazamento do bloco 6.....	55
Gráfico 8 - Gráfico de séries temporais para analisar o PPM do vazamento do bloco 6 cilindros após provas com novo desmoldante.....	55

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivos	14
1.1.1 Objetivo Principal	14
1.1.2 Objetivos Específicos	14
1.2 Justificativa	14
1.3 Estrutura do trabalho	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 Controle de qualidade total	16
2.1.1 Ferramentas da qualidade	17
<u>2.1.1.1 Diagrama causa e efeito</u>	<u>18</u>
<u>2.1.1.2 Gráfico de Pareto</u>	<u>20</u>
2.2 Processo de Fundição	21
2.2.1 Etapas dos processos de fundição	21
2.2.2 Defeitos e controle de qualidade de peças fundidas	24
<u>2.2.3 Protuberâncias no metal</u>	<u>25</u>
<u>2.2.4 Cavidades</u>	<u>28</u>
<u>2.2.5 Trincas</u>	<u>29</u>
<u>2.2.6 Superfícies defeituosas</u>	<u>30</u>
<u>2.2.7 Peças incompletas</u>	<u>31</u>
<u>2.2.8 Forma incorreta da peça</u>	<u>32</u>
<u>2.2.9 Inclusões</u>	<u>32</u>
3 MATERIAS E METODOS	33
3.1 Métodos	33
3.1.1 PDCA	33
3.1.2 Diagrama causa e efeito e gráfico de Pareto	34
3.1.3 SIPOC e Mapa de processos	36
3.1.4 Matriz de priorização	36
3.1.5 Especialistas	37
3.2 Materiais	37
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
4.1 Etapa de planejamento PDCA	38
4.2 Etapa de realização do planejado Do PDCA	38
4.3 Etapa de avaliação dos resultados e possíveis melhorias	53

4.3.1 Temperatura e tempo de vazamento do metal	53
4.3.2 Quantidade e qualidade de desmoldante	54
4.3.3 Areia de preparação/umidade areia	56
4.3.4 Geometria / Volume da peça	56
4.3.5 Inoculante	56
4.3.7 Sistema de alimentação	57
4.3.8 Análise química do metal	57
REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

O mercado de trabalho está cada vez mais exigente e competitivo e empresas têm o dever de usar ferramentas para melhorar sua qualidade, pois só assim conseguirão manter-se dentro do mundo globalizado. A satisfação das necessidades das pessoas é a razão da existência da organização, a qual deve suprir tais carências com produtos e serviços esperados pelos consumidores e pelo mercado altamente competitivo (SELEME; STADLER, 2010). Com base nisso, ao longo dos anos foram desenvolvidas e aperfeiçoadas ferramentas que auxiliam no processo para ter uma maior qualidade na sua produção.

Empresas sempre visam lucro, e por conta disso, quanto mais falhas existem em seu processo, resulta em menos lucro. Um dos grandes problemas que são enfrentados por empresas assim são os chamados refugos. O desenvolvimento da fundição engloba várias áreas que como de materiais, até a engenharia, assim se tornando um processo suscetível a vários defeitos na fabricação, e o mais utilizado para conseguir um nível de complexidade maior nas peças. As empresas sempre estão buscando uma maneira de evitar essas falhas, e uma opção para que isso acabe é por meio de diagnósticos corretos dos possíveis erros que ocorrem, para que então se possa corrigir de forma adequada.

Nesse estudo de caso foi verificados os defeitos que levam a peça a virar refugo e conseqüentemente, ao seu descarte, porém, existem incorreções que não afetam a peça, podendo continuar sua produção sem prejudicar o produto final. Através dessa produção, será possível ter uma análise direta sobre as peças refugadas, verificando quais são as principais causas que estão impedindo sua fabricação total, e para isso, usa-se o diagrama de causa e efeito. Indo além, o gráfico de Pareto auxiliará na classificação desses defeitos, para assim verificar em qual área do processo de fundição está gerando os maiores refugos.

A empresa onde o estudo foi realizado é a maior no segmento de blocos e cabeçotes, sendo assim, sua demanda é extremamente alta e qualquer peça que sofra com constantes casos de refugo é um prejuízo grande para uma empresa que preza a qualidade e satisfação de seus clientes pelo mundo. Quando os clientes sentem satisfação por um bom trabalho realizado, não há nenhuma reclamação, por outro lado, quando um problema ocorre, não existe apenas um culpado, e sim causas que devem ser buscadas por todos os envolvidos da empresa de forma voluntária

(Campos,1940), e por meio desse trabalho, pode-se então verificar esses geradores de problema que resultam no refugo nas peças.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Principal

O objetivo principal é realizar uma análise utilizando as ferramentas da qualidade no processo de fundição de um bloco de motor. A fim de verificar as principais causas que estão levando-o ao alto índice de refugo. Após identificar a causa principal realizar a análise detalhada e verificar quais fatores mais influenciam nela. Por fim, realizar o estudo dos fatores encontrados, confirmar sua relação com o defeito e apontar possíveis melhorias e ações a serem tomadas, para agir sobre a causa.

1.1.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo principal, os seguintes objetivos específicos devem ser alcançados:

- Aplicar o diagrama de Ishikawa de causa e efeito para ver o que está gerando esses defeitos;
- Aplicar o diagrama de Pareto para classificar esses defeitos;
- Confeccionar SIPOC para visualização sistemática do processo;
- Confeccionar o mapa de processos para identificar as causas;
- Fazer a verificação das causas através da matriz de priorização;
- Apontar ações ou melhorias.

1.2 Justificativa

Muitas vezes as empresas não disponibilizam tempo para fazer uma análise mais minuciosa sobre os seus processos, assim alguns defeitos que podem aparecer no fluxo normal do dia a dia e que não são analisados, podem gerar um grande prejuízo. O bloco de motor escolhido tem um alto índice de refugo apontado pela

empresa, que deixa de lucrar. Sendo assim, com uma análise apontando as maiores falhas, pode-se verificar maneiras de solucionar o problema.

A empresa que o estudo está sendo feito já tem um programa de melhoria contínua, então é de suma importância fazer esse exame, pois contribuirá para que esse programa continue com as melhorias, assim fortificando ainda mais a qualidade dos produtos fornecidos para os clientes. Além disso, esse é um estudo que pode ser viabilizado para outras linhas de produções na empresa, assim servindo para identificar outras possíveis falhas que vem gerando refugo em determinadas peças fabricadas.

1.3 Estrutura do trabalho

O trabalho será estruturado da seguinte forma: primeiro, uma introdução contextualizando o problema, seguindo para os objetivos esperados e apresentando um pouco a metodologia que será usada para a realização do estudo. Na sequência, as referências bibliográficas, mostra e explica um pouco sobre o controle de qualidade e as suas ferramentas, abordando também o processo de uma fundição para criar um bloco de motor. Para a terceira parte, tem-se materiais e métodos, onde será aplicado a metodologia e o uso das ferramentas de qualidade para verificar o problema em questão.

Na quarta parte é mostrado os resultados esperados e uma discussão sobre os resultados alcançados. Por fim, apresentação da conclusão sobre o estudo feito sobre os refugos no bloco de motor e um possível direcionamento para a empresa.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse capítulo há conceitos importantes para o desenvolvimento desse estudo, mostrando sobre controle de qualidade suas ferramentas e sobre o processo de fundição.

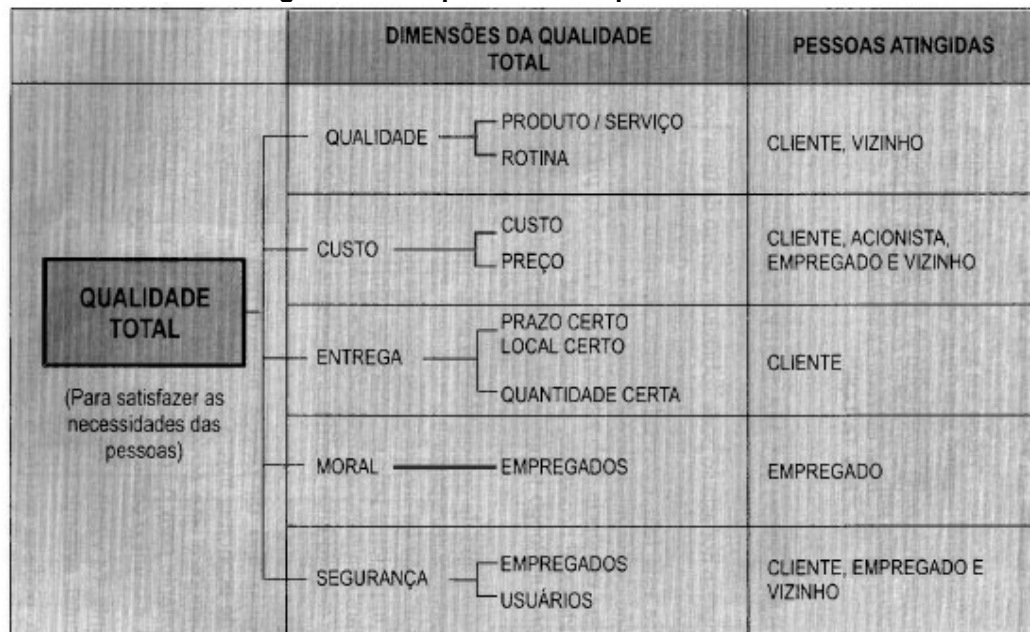
2.1 Controle de qualidade total

Uma empresa, para manter-se no mercado, precisa sempre pensar na satisfação do seu cliente, pois são eles que geram o lucro e prosperidade, já que: “É necessário, e mesmo vital para a empresa, que eles se sintam satisfeitos por um longo tempo após a compra do seu produto ou a utilização do seu serviço” (CAMPOS, 2004. Pg, 11).

Outra peça fundamental para o processo da qualidade são os empregados da empresa, pois sem eles não haveria o produto. Aliando salários justos, treinamentos e segurança, eles se sentem importantes e necessários para a instituição, o que é uma parte fundamental para a produção de um produto de qualidade. Os acionistas, principalmente em empresas de grande porte, também são consideráveis para que haja qualidade, tendo em vista que sem investimento, melhorias não podem ser feitas (CAMPOS, 2004).

Surgido no Japão para melhorar todos esses pontos, o TQC (Total Quality Control), em português: controle da qualidade total, é um modelo administrativo que foi montado pela JUSU (Union of Japanese Scientist and Engineers), grupo de pesquisa e controle de qualidade, com a influência de vários pensadores do assunto como, Taylor, Shewhart, Maslow e Juran (CAMPOS, 2004). Através da Figura 1, podemos olhar de que forma o controle total da qualidade pode afetar uma empresa, mostrando que engloba muitos pontos e pessoas para alcançar o objetivo.

Figura 1 - Componentes da qualidade total



Fonte: Campos (2004)

2.1.1 Ferramentas da qualidade

Com o controle da qualidade total foi possível juntar todas as ferramentas que ajudariam a melhorar esse processo, além de métodos específicos para a aplicação delas. Para isso, tem-se o método PDCA (Plan, Do, Check, Action), que propõe as ferramentas da qualidade para: planejar, fazer, checar e colocar em ação, garantindo a qualidade. Como aborda Machado (2012), as “Ferramentas da qualidade são técnicas que se podem utilizar com a finalidade de definir, mensurar, analisar e propor soluções para problemas que eventualmente são encontrados e interferem no bom desempenho dos processos de trabalho”.

A seguir, apresenta-se as ferramentas da qualidade mais utilizadas, na identificação de falhas:

- Fluxograma: ele tem a função de facilitar o entendimento de um processo, de maneira a desenhar o fluxo por que passa o produto. Assim tendo um entendimento maior de todos os setores que o produto irá passar, assim como a identificar possíveis melhorias e defeitos do fluxo do produto (MACHADO, 2012).
- Diagrama de Ishikawa: também conhecido como “diagrama espinha de peixe” ou “causa e efeito”, ele tem como função identificar todas

a possíveis causas que podem ocorrer em seu processo e o efeito final que essas causas se tornam (MACHADO, 2012).

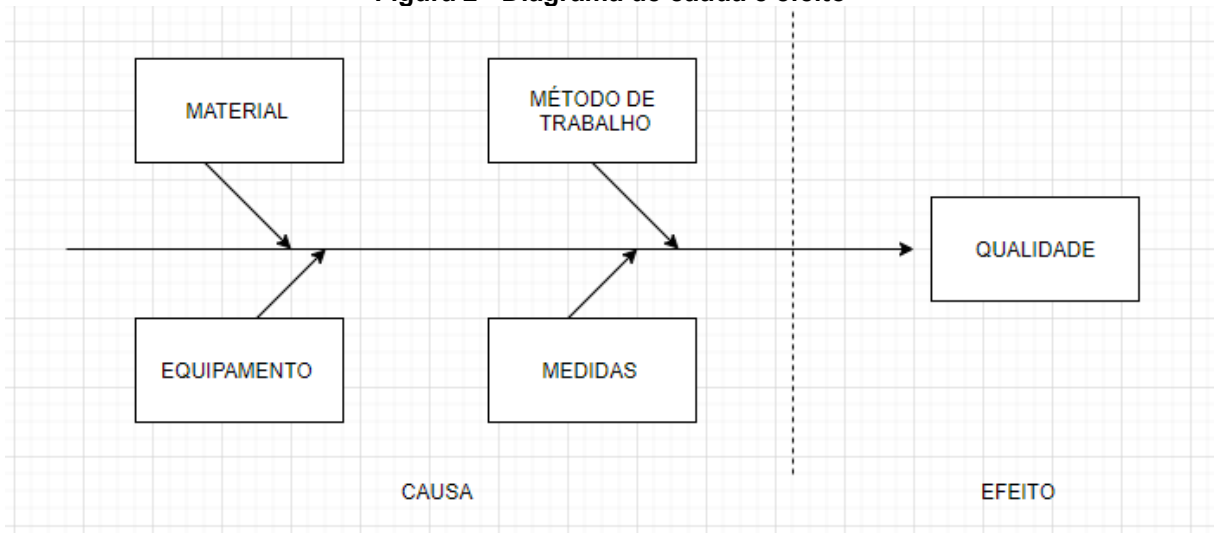
- Folhas de verificação: são planilhas desenvolvidas especificamente para um processo para facilitar o preenchimento e coleta de dados, sem tomar muito tempo. Registram-se os dados dos itens a serem verificados, permitindo uma rápida percepção da realidade e uma imediata interpretação da situação, ajudando a diminuir erros e confusões. (MACHADO, 2012).
- Gráfico de Pareto: tem como finalidade classificar e mostrar todas as condições em que o processo está sujeito e sua importância, assim, pode-se identificar a causa básica do problema, para então monitorá-lo e achar uma possível solução (MACHADO, 2012).
- Histograma: é um gráfico utilizado para quantificar dados, utiliza barras que facilitam a interpretação. É basicamente um mapa de frequência para determinadas categorias ou amostra (MACHADO, 2012).
- Diagrama de dispersão: sua função é adicionar variáveis e verificar qual efeito essa causa tem sobre outras variáveis do processo, essa ferramenta tem uma grande importância para tentar prevenir futuros problemas quando sofrem alterações (MACHADO, 2012).
- Cartas de controle: é um instrumento que usa sua base em estatística, podendo mostrar a variação que certos dados podem sofrer dentro de um processo, assim podendo determinar se está aceitável ou não a variação. (MACHADO, 2012).

2.1.1.1 Diagrama causa e efeito

“Em 1953, Ishikawa consolidou estudos realizados em uma fábrica na forma de um diagrama de causa e efeito” (SELEME; STADLER, 2010). Para falar sobre esse diagrama, Ishikawa explica antes sobre a dispersão, mesmo que existam dois processos iguais, eles ainda podem apresentar resultados diferentes, explicando que mesmo que a matéria prima venha do mesmo lugar, pode aparecer características diferentes inesperadas. A máquina ou o equipamento onde está sendo feito pode não trabalhar exatamente 100% do tempo de maneira igual, assim causando pequenas

alterações em seu processo. Usando como exemplo: dois empregados, mesmo que estejam com o mesmo treinamento, tem mudança na forma como cada um faz o serviço. Dentro disso, pode-se então ver um grande relacionamento entre a causa e efeito (SELEME; STADLER, 2010). Figura 2 logo abaixo mostra mais detalhadamente o diagrama.

Figura 2 - Diagrama de cauda e efeito



Fonte: Adaptação Ishikawa (1972)

Sabendo que são inúmeros problemas na fábrica, o diagrama de causa e efeito nos ajuda a controlar essa dispersão e organizar os processos. “Um bom diagrama de causa e efeito é aquele que se ajusta ao propósito e não existe uma forma definida” (ISHIKAWA,1972.Pg 24.).

O diagrama de Ishikawa também se mostra muito educacional, pois para usá-lo, exige-se muita pesquisa e conversa com indivíduos que estão atuando na área onde o estudo será feito. Ele ajuda na hora de discutir problemas, pois como as causas são bem divididas, o foco se mantém somente no que está gerando o seu problema e sempre que se encontra algo incomum durante a pesquisa de averiguação das causas, logo vê-se os fatores que a cercam (ISHIKAWA,1972).

Cada vez que se encontra uma mudança na qualidade, deve-se procurar logo a causa cuidadosamente, assim que verificar a veracidade dela, utiliza-se o diagrama, assim detectando as verdadeiras causas pode-se buscar por uma ação de controle. “Quanto maior seu uso, mais eficaz ele se torna. E o uso eficaz do diagrama de causa e efeito é um passo importante para promover as atividades de controle de qualidade” (ISHIKAWA,1972.Pg 28).

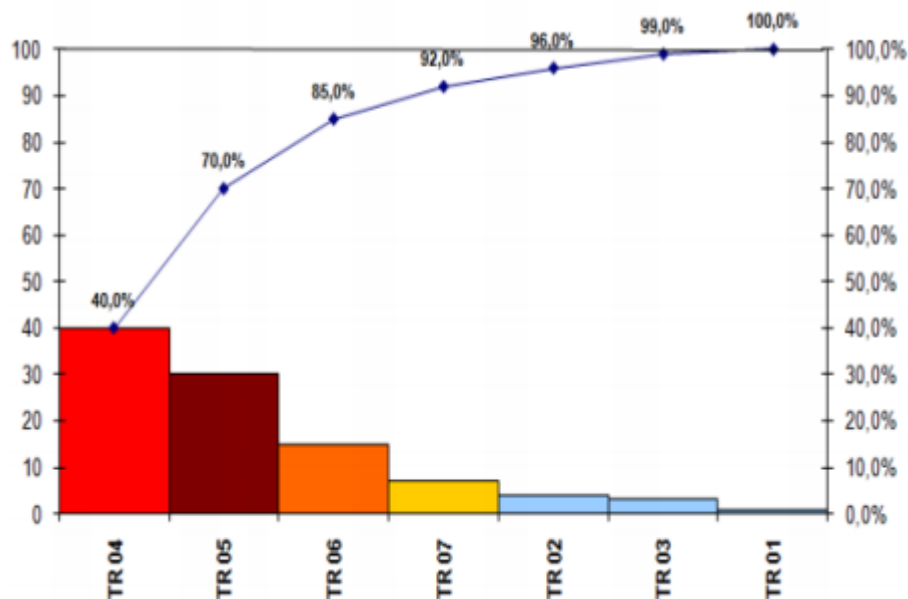
2.1.1.2 Gráfico de Pareto

“O gráfico de Pareto é uma ferramenta desenvolvida por Joseph Juran a partir de análises e estudos realizados pelo economista italiano Vilfredo Pareto e pelo americano Max Otto Lorenz” (SELEME; STADLER, 2010. Pg 88). Com o gráfico de Pareto pode-se quantificar os defeitos encontrados, utilizando tanto a frequência deles, quanto o custo que eles causam a produção. Feito em barras, avalia-se no gráfico qual o defeito mais recorrente ou o que gera maior gasto, assim sabendo qual problema precisa ser revolido primeiro (SELEME; STADLER, 2010).

Antes de fazer qualquer melhoria, deve-se utilizar o diagrama de Pareto, pois assim, não haverá desperdícios de esforços em resolver um problema que não seja o maior deles. “A experiência nos mostrou que é muito mais fácil reduzir uma barra mais alta pela metade do que reduzir uma barra mais curta a zero”(ISHIKAWA,1972. Pg 45). Portanto, percebe-se a importância desse gráfico, além de mostrar o principal problema, ele leva a uma cooperação mútua.

Também chamado de gráfico 80/20, pois através dele pode-se perceber que resolvendo os maiores problemas tem-se uma redução de 80 % do prejuízo. Como exemplo: 100 causas que geram 1 defeito, se conseguir resolver pelo menos 20 das mais importantes, tem-se então uma redução de 80 % dos problemas. Logo abaixo na figura 3 temos uma exemplificação do gráfico de Pareto.

Figura 3 - Exemplificação do gráfico de Pareto



Fonte: IFSUL, PEREIRA (2016)

Como se pode ver no gráfico da Figura 3, ao resolver apenas os 2 primeiros problemas, já haveria diminuído em 70% os defeitos ou perdas. Tem-se também uma forma de desdobramento do gráfico de Pareto, onde há uma análise dos principais defeitos com maior atenção. Assim, pode-se ver que o diagrama de causa e efeito de Ishikawa junto com o gráfico de Pareto são ferramentas consideráveis para a identificação de falhas (PEREIRA, 2016).

2.2 Processo de Fundição

A fundição é a que consiste no vazamento de metal líquido dentro de um molde, esse molde tem canais e cavidades por onde o metal percorre, assim adquirindo a forma desejada, é um processo muito utilizado, pois a peça extraída já está quase em sua forma final, porém deve-se cuidar com alguns fenômenos que podem ocorrer no processo no caso de não proceder adequadamente. Destacando os efeitos da solidificação, cristalização, contração de volume, concentração de impurezas e desprendimento de gases. Estes fatores demandam de cuidados e técnicas adequadas para poder evitá-los, e assim evitar defeito nas peças.

2.2.1 Etapas dos processos de fundição

Primeiramente, há a produção do projeto e confecção de todo o ferramental necessário para começar a produção da peça. Muitas vezes, com a utilização de softwares para otimizar o processo, averiguando possíveis pontos faltosos, o que pode ocorrer durante o processo de fabricação. Com todo, o projeto feito e ferramental pronto começam as seguintes etapas da fundição:

Modelação:

Consiste na produção do modelo que tem o formato da peça desejada, porém com acréscimos em suas dimensões, devido ao metal sofrer as contrações na sua solidificação, o modelo pode ser feito de vários materiais: como metais à madeira, e é através do modelo que se pode confeccionar o molde (OLIVEIRA, 2015). Na figura 4 temos um exemplo de um modelo de fundição.

Figura 4 - Imagem de um modelo de fundição



Fonte: JURK Modelações (2021)

Molde:

É o local onde será vazado o metal líquido adquirindo o formato da peça desejada, feito de material refratário que na empresa normalmente é areia com uma composição específica usada da empresa (OLIVEIRA,2015). Na figura 5 podemos ver o molde que é formado através do modelo.

Figura 5 - Imagem de um molde de fundição



Fonte: Buntech (2014)

Macho:

A confecção do macho é feita através da caixa de macho, a areia é preparada para ser injetada na caixa de macho, sendo compactada e dando formato ao macho. O macho é também feito de material refratário que tem como função definir as cavidades ou preencher algum espaço vazio dentro do molde, na figura 6 encontra-se um exemplo de um macho de areia . Assim que o macho está pronto ele é colocado

dentro do molde fechando a parte inferior do molde com a superior e estará pronto para receber o metal liquido (Chiaverini,1986; OLIVEIRA, 2015).

Figura 6 - Imagem de um macho de fundição



Fonte: Moldimig (2021)

Fusão e vazamento:

A fusão que consiste em passar o metal para sua forma líquida acontece por meio de fornos que normalmente são fornos que utilizam combustível fóssil ou elétricos. Após isso o metal está em sua forma líquida ele é analisado para verificar se a composição de sua liga está correta, se não a corrigem e está pronto para ser vazado dentro dos moldes (OLIVEIRA, 2015). Na figura 7 logo abaixo podemos ver o metal líquido sendo passado para uma panela para fazer o vazamento em um molde.

Figura 7 - Vazamento de metal líquido



Fonte: foto, Alaettin YILDIRIM (Shutterstock.com)

Desmoldagem, limpeza e rebarbação:

Na figura 8 tem-se a demonstração do processo de desmoldagem. Processo que ocorre depois que o metal é vazado no molde, nas fundições de areia normalmente se reaproveita a areia utilizada, neste caso utiliza-se maquinário especial como máquinas vibratórias que recolhem a areia depois do processo. Feita a desmoldagem iremos para o processo de limpeza e rebarbação, primeiro com a remoção de canais de alimentação e massalotes, com auxílio de ferramentas. Assim que retiram essas matérias passa-se para uma limpeza mais detalhada onde se utiliza jatos de esferas, esmerilhadeira e marteletes para rebarbas menores (Chiaverini,1986; OLIVEIRA, 2015).

Figura 8 - Máquina de desmoldagem



Fonte: Mavi maquinas vibratórias (2021)

2.2.2 Defeitos e controle de qualidade de peças fundidas

“A inspeção de peças fundidas como de peças produzidas por qualquer outro processo metalúrgico tem dois objetivos: rejeitar as peças defeituosas e preservar a qualidade das matérias-primas utilizadas da fundição e sua mão-de-obra” (Chiaverini,1986). Temos 3 principais formas de inspecionar as peças: visual onde ao logo de todos os processos de fundição pode ser detectado qualquer não conformidade na linha.

Uma avaliação dimensional é feita, mas isso ocorre já com a peça pronta, onde através de vários equipamentos, peças são selecionadas para averiguar se as dimensões estão saindo conforme deveriam. Essa análise sempre é feita em lotes teste antes de começar uma produção em série para checar possíveis falhas dimensionais.

Por último uma verificação metalográfica onde são aplicados vários ensaios no metal, como teste metalográficos para verificar sua microestrutura, ensaios químicos, ensaios mecânicos para avaliar se as suas propriedades estão como esperadas e aguentariam os esforços que a peça está sujeita a sofrer. Ensaios não destrutíveis como líquidos penetrantes também são aplicados para verificar possíveis trincas e afins no material.

Existem também testes que podem ser específicos para a peça projetada assim cada cliente tem um teste próprio que pode ser feito.

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

2.2.3 Protuberâncias no metal

São as rebarbas, mas elas podem ser mais simples sem mudar a geometria da peça ou grossas a ponto de mudar.

Sem mudança de geometria temos:

Rebarbas metálicas:

São aquelas que normalmente se formam devido a junção dos machos e dos machos com o molde ou em suas linhas de divisões. São causadas normalmente porque existe uma folga nessas divisões. Para evitar esses defeitos deve sempre checar essas folgas e caso aja folgas veda-las se for possível sem danificar a peça. (BRAGA, 2011). Figura 9 tem-se um exemplo de rebarbas metálicas.

Figura 9 - Rebarbas metálicas



Fonte: Workshop LABMAT (2011)

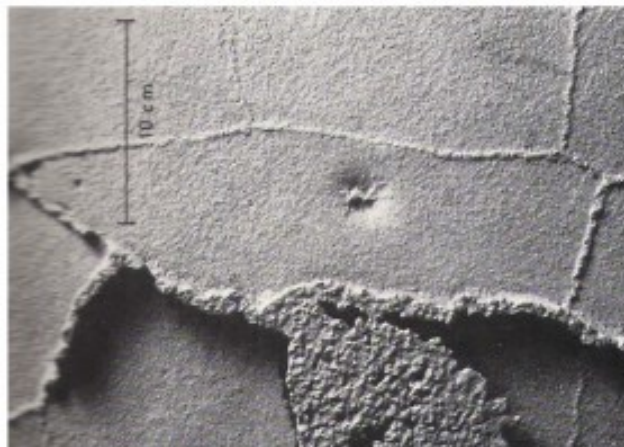
Veimento:

São rebarbas que se formam no meio da peça e geralmente são perpendiculares a superfície ou em rede, mas não encontradas em cantos. Ela pode causar rachadura na superfície do molde, pode acumular grande quantidade de areia e tem um alto índice de umidade. Pode-se evitar verificando a composição da areia utilizada como identificar possíveis fendas e fecha-las. Um aumento na dureza do molde também pode ser uma ação para evitar tal defeito (BRAGA, 2011).

Rebarba de ângulo:

São rebarbas que normalmente se encontram dividindo dois ângulos formado pelo molde. Pode causar rachaduras no molde ou machos durante o processo e acumular junto a ela grande quantidade de areia. Para evitar pode se diminuir a onde se está aglomerando muita areia ou modificar a região onde está causando essas aglomerações (BRAGA, 2011). Mostra-se exemplo de veimento na figura 10.

Figura 10 - Imagem de veimentos



Fonte: Workshop LABMAT (2011)

Para os defeitos que mudam a geometria das peças temos então:

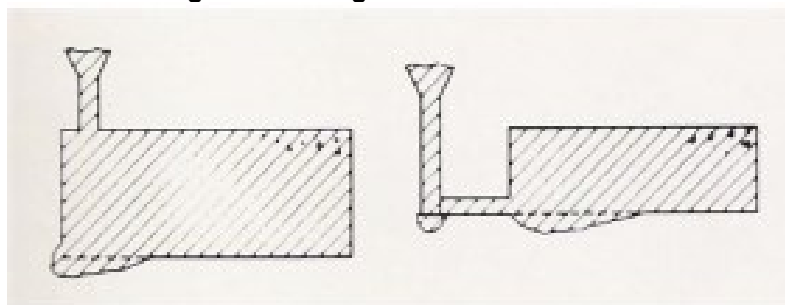
Levantamento de molde:

Ocorre uma rebarba plana e grossa afetando a peça que sofre um aumento em sua espessura normalmente acontecendo-se na linha de divisão do molde. Causa devida a uma dinâmica incorreta do metal líquido na hora do vazamento ou demasiada pressão assim ocorrendo a movimentação do molde preenchendo áreas que não deviam. Para tentar evitar esse defeito colocar peso suficiente para evitar o empuxo, fazer grampeamento das peças para evitar o movimento ou se possível uma diminuição dos canais de descida de vazamento onde pode estar ocorrendo essa velocidade excessiva do metal líquido (BRAGA, 2011).

Erosão de areia:

Normalmente causada na descida do metal devido a sua força pode causar essa protuberância na peça devido essa erosão sofrida na areia, essa areia que sofre essa movimentação de lugar pode parar em outro lugar causando as inclusões na peça. Principais causas são areia mal prepara, junção dos moldes e machos mal feita ou mesmo o sistema de vazamento não foi devidamente projetado causando essa grande força em sua descida e empurrando areia. Pode evitar esse defeito melhorando a resistência da areia, trocar sistema de vazamento se mal projetado, colocar algo mais refratário na região afetada ou utilizar canais de descida cerâmicos e filtros (DEMEC, UFPR, 2017; BRAGA, 2011). Demonstra-se através da figura 11 um exemplo de erosão de areia.

Figura 11 - Imagem da erosão de areia



Fonte: Workshop LABMAT (2011)

Macho quebrado:

Normalmente situadas internamente devido ao macho quebrado são protuberâncias que ocorrem devido ao preenchimento de metal líquido em área que não deveria devido a essa quebra são vistos geralmente na forma de inclusões. Esse defeito acontece geralmente por areia dos machos com pouca resistência, machos mal colocados e outras formas como o macho é tratado em seu transporte e manuseio. Pode ser evitado melhorando a resistência da areia e o seu transporte e manuseio com o devido cuidado (BRAGA, 2011).

2.2.4 Cavidades

Efeitos que geram cavidades nas peças normalmente são causados por:

Gases:

Temos causas endógenas que são devido aos gases que o metal gera causado geralmente por muito gás na hora do banho metálico ou formação de oxido de carbono em fundições de aço e ferro fundido. Mas também existe a causa exógena que é o gás que se forma devido o material do molde e machos. São gerados por eles estarem muito úmidos, aglomerantes usados, aditivos usados em grandes quantidades assim como uma pintura errada ou uma baixa permeabilidade dos moldes e machos. Para evitar esses gases podemos projetar melhores saídas dos gases assim como aumentas a permeabilidade, melhoras na secagem do molde, modificar aglomerante e pintura dos moldes e machos (DEMEC, UFPR, 2017; BRAGA, 2011). Logo abaixo na figura 12 tem-se uma peça com cavidades devido a formação de gases.

Figura 12 - Cavidades devido aos gases



Fonte: Workshop LABMAT (2011)

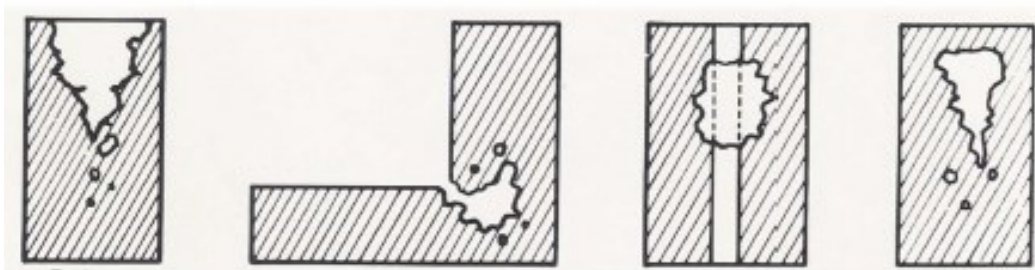
Rechupes dispersos:

Encontrados em forma de virgula e normalmente perpendicular à superfície. Causados por baixa quantidade de carbono, molde sem devida dureza e quantidades de nitrogênio presentes muito alta. Evitando ao diminuir essa quantidade de nitrogênio e se caso tenha proporções de aço na carga diminuir pois isso gera mais nitrogênio, devido a esse nitrogênio se formar normalmente em fornos de arco assim fornos de indução e cubilô são mais indicados e secar bem os moldes pode geralmente se evitar esse defeito (BRAGA, 2011).

Rechupes típicos:

São cavidade abertas ou fechadas e normalmente causas pela contração sofrida pelo metal em sua solidificação, gases que se desprendem do molde e junto a uma pressão causam essas cavidades conhecido como (efeito Leonard), deformações no molde. Para não acontecer esse defeito pode-se nas ligas de ferro fundido variar a quantidade de grafita assim diminuindo a contração colocação de massalotes usar resfriadores internos e externos e a colocação de nervuras ou arredondar cantos (BRAGA, 2011). O rechupe, defeito bem frequente na fundição, está exemplificado na figura 13.

Figura 13 - Rechupes Típicos



Fonte: Workshop LABMAT (2011)

2.2.5 Trincas

Trinca à frio:

Uma descontinuidade da peça dividindo-a e fragmentos, suas causas normalmente são devido ao mal manuseio da peça, na hora da desmoldagem, fazendo a rebarbação e quebrando os canais podem causar essas trincas. Para evitar

isso tomar cuidado com os processos que causam elas assim pode se evitar (BRAGA, 2011).

Trincas à quente:

Também uma descontinuidade na peça e suas causas são geradas por desmoldagem no tempo incorreto e o mal manuseio que podem causar batidas ou movimentações bruscas. Evita-se esse defeito cuidando manuseio do molde, principalmente quando a peça ainda está muito quente, e dar o tempo necessário para que se possa desmoldar a peça (BRAGA, 2011).

2.2.6 Superfícies defeituosas

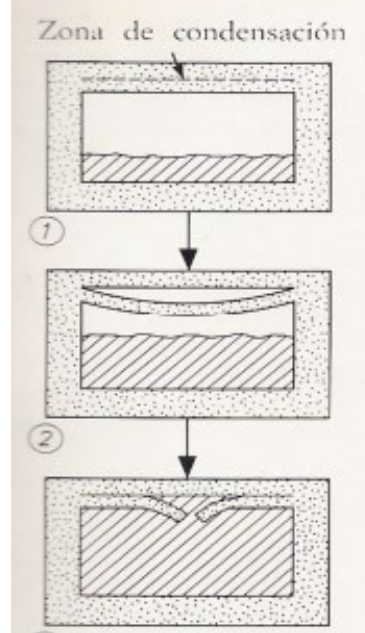
Esmagamento:

Normalmente é um defeito que aparenta ser muito parecido com os causados pelo desprendimento do molde, gerando essas pequenas depressões. Suas causas cintas de apoio da caixa muito gasta ou peso excessivo e grampeamentos muito fortes ou suporte e armação do molde podem sofrer um desprendimento assim causando esse esmagamento. Para evitar checar a ocorrência dessas causas e fazer a devida adequação (BRAGA, 2011).

Expansão da areia:

Na figura 14 temos a exemplificação do defeito decorrente da expansão da areia. Defeito no metal geralmente irregular de contorno delgado e superfícies bem rugosa e embaixo desse defeito ocorre pequena depressão. Tem como causa a formação de uma zona de condensação que tem uma baixa resistência formando essa camada de dilatação que começa a se desprender com o enchimento (BRAGA, 2011).

Figura 14 - Expansão da areia



Fonte: Workshop LABMAT (2011)

2.2.7 Peças incompletas

Falta de enchimento:

O próprio nome já nos fala que é a falta de material para preencher completamente a peça. Normalmente a um enchimento dos canais lento gerando resfriamento antes da hora sem fluidez do metal líquido com uma possível temperatura baixa ou mesmo um projeto mal confeccionado gerando a falta de metal em certos pontos. Podendo ser evitado com o aumento da temperatura, cálculo melhor da alimentação e do projeto e melhorando a permeabilidade e saída de gases (BRAGA, 2011).

Falta de metal:

A peça sai incompleta devido a uma interrupção do vazamento ou uma possível falta de metal na panela. Para evitar melhorar a coordenação do processo e certificar-se que exista metal suficiente na panela (BRAGA, 2011).

Molde vazado:

Normalmente apresenta uma superfície concava se prolongando até o topo do molde. Causas como mal vedação, grampeamento irregularidade de montagem ou ainda uma desmoldagem precoce pode ocorrer esse defeito. Para não acontecer

tomar cuidado com os possíveis lugares sem vedação como no fechamento de moldes e respiros e um grampeamento adequado assim como cuidado e respeitando tempo da desmoldagem (BRAGA, 2011).

2.2.8 Forma incorreta da peça

Deformação devido contração:

A peça apresenta regiões com deformidade ou a peça inteira com dimensões diferentes do planejado. Temos como principais causas obstáculos que impedem a contração pois as contrações irão acontecer então tem que se calcular o jeito correto delas acontecerem, e outras causa como desmoldagem inadequada e moldagem mal feita. Para se evitas esse defeito recomenda-se verificar o projeto e adequá-lo, diferentes técnicas de vazamento, quebras os massalotes e canais após o vazamento evitando que eles impeçam essa contração já prevista e esfriar a peça fundida no molde (BRAGA, 2011).

2.2.9 Inclusões

Inclusão de escória:

São escorias vindas de fornos, panelas e possíveis adições ao banho metálico que não conseguiram se dissolver. Para evirar isso normalmente se utiliza os filtros assim segurando essas escorias, mas também é possível limpando fornos e panelas, manter o canal de vazamento cheio até o termino ou até mesmo projetar os canais para segurarem esse tipo de escoria (BRAGA, 2011). Na figura 15 tem-se região que sofreu uma inclusão de escória.

Figura 15 - Inclusões de escória



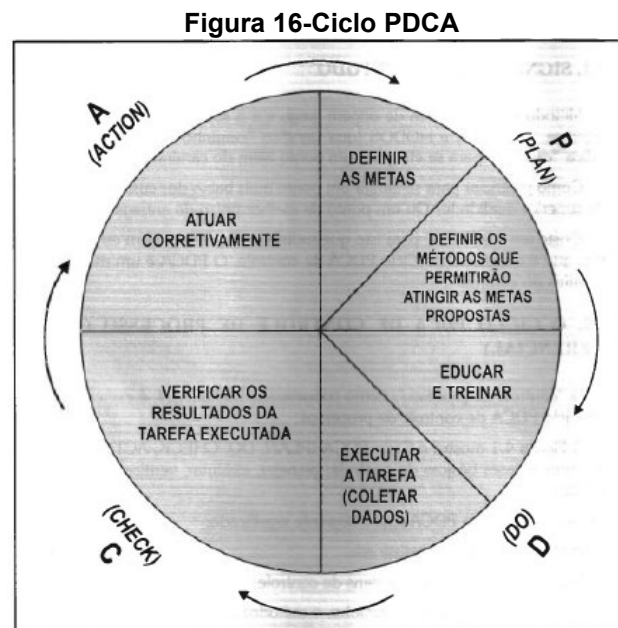
Fonte: Workshop LABMAT (2011)

3 MATERIAS E METODOS

3.1 Métodos

3.1.1 PDCA

Seguindo com uma metodologia existente nos processos de averiguação e controle de qualidade, dá-se seqüência ao presente trabalho. O PDCA, muito utilizado para manter uma qualidade continua, porém, frisa-se sua desenvoltura para proporcionar uma melhoria no processo. A sigla PDCA (Plan, Do, Check, Action), pode ser traduzida da seguinte maneira: planejamento, execução, averiguação e atuar no problema. Demonstra-se na figura 16 o cada processo do ciclo PDCA.

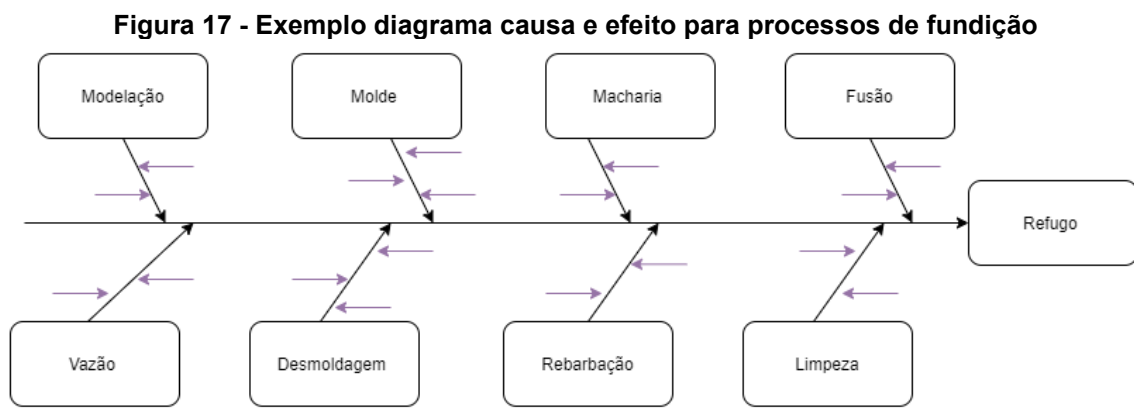


Fonte: Campos (2004)

Há planejamento de metas e um plano de ação para seguir dentro da empresa, com auxílio de especialistas e dados disponibilizados das peças que serão analisadas. Planejado: começando pela coleta de dados disponibilizada pela empresa e verifica-se junto com especialistas.

3.1.2 Diagrama causa e efeito e gráfico de Pareto

Com auxílio do diagrama de causa e efeito analisa-se os problemas que estão gerando os refugos. Será dividido por processos, como mostrado na Figura 17, e aplicando subcausas com os defeitos de cada processo de fundição. Logo após a aplicação do diagrama de Pareto nas causas e subcausas, pode-se ver a quantificação dos defeitos e verificar qual seria a área de processo com maior número de defeitos.

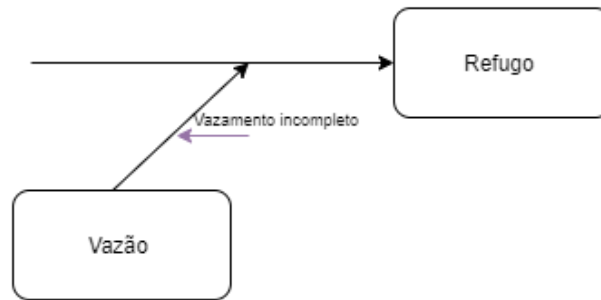


Fonte: Autoria própria (2021)

Após esse processo, será feita a averiguação dos dados, se estão de acordo com o que foi planejado e se a meta estabelecida foi alcançada. Na atuação do problema será mostrado quais são os maiores causadores de problemas, o quanto de prejuízo estará trazendo para a empresa, e mostrar possíveis soluções e correção dos obstáculos.

Utilizou-se o diagrama de causa e efeito como visto da Figura 17 que ajudará a ter uma percepção melhor sobre o processo e o que está levando a gerar tantos refugos. Como podemos ver na Figura 18 pode ser dividido em subcausas, no exemplo vemos que no processo de vazão uma das causas para gerar refugo é o vazamento incompleto.

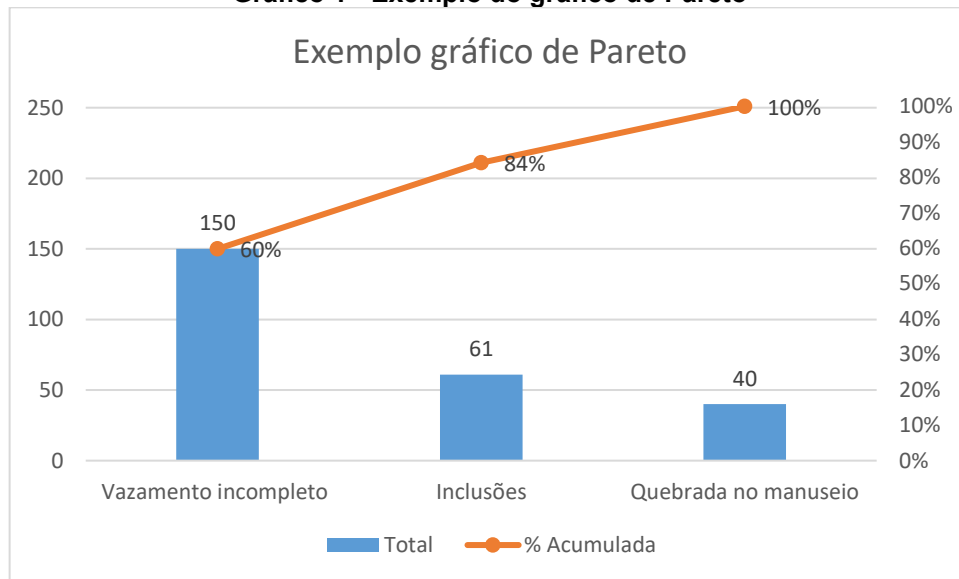
Figura 18 - Exemplo de causa e subcausa



Fonte: Autoria própria (2021)

Com o gráfico de Pareto, quantificam-se os defeitos, em ordem de processo e classificação que mais ocorrem, resultando no refugo de peças. No Gráfico 1, há o exemplo da aplicação do Pareto, onde identifica-se que resolvendo o problema do vazamento incompleto, tem-se uma diminuição de 60 % dos problemas.

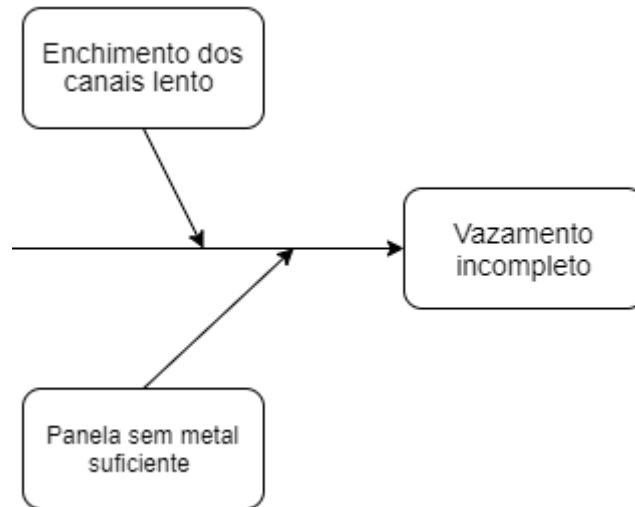
Gráfico 1 - Exemplo do gráfico de Pareto



Fonte: Autoria própria (2021)

Após identificar os problemas principais, novamente aplica-se o diagrama de causa e efeito para identificar o que leva ao defeito. Isso ajuda a tomar uma medida corretiva. Como mostrado na figura 19, o defeito de vazamento incompleto ocorre por dois motivos, assim aplicando uma solução para eles será possível acabar com a imperfeição.

Figura 19 - Exemplo de diagrama e efeito para uma segunda verificação



Fonte: Autoria própria (2021)

3.1.3 SIPOC e Mapa de processos

SIPOC nos auxilia no entendimento macro do processo, utilizando uma visão sistêmica, ajuda na busca por indicadores e divide o processo em etapas que facilita encontrar lugares com necessidade de mudança.

O mapa de processo ao contrário do SIPOC é utilizado para um detalhamento maior do processo e encontrando os parâmetros que podem ou não serem controlados durante ele. Para cada processo temos uma entrada e saída, é detalhado todas os parâmetros, facilitando a tomada de decisão para cada fase.

3.1.4 Matriz de priorização

A matriz de priorização tem como finalidade auxiliar na identificação das causas mais relevantes ao processo. São classificadas de acordo com o impacto que causa no processo, verificando se é de difícil detecção e se ocorre com elevada frequência. Assim dispondo as causas na matriz pode-se quantificar e avaliar as de maior peso.

3.1.5 Especialistas

Para a colaboração, conta-se com os especialistas da empresa, da área da qualidade, o engenheiro e metalurgista responsável pela peça. Na área da qualidade, será fornecido os dados coletados dos defeitos que geram refugo na peça.

O engenheiro da peça é o responsável pelas normas técnicas, relação com o cliente e pela qualidade da peça. Tendo em vista isso, ele deve atender as expectativas do cliente, tirando possíveis dúvidas em relação ao processo e possíveis soluções para o problema.

Para a metalurgia da peça, o profissional atua diretamente na área de refugo e dá suporte ao engenheiro, contribuindo para a produção, qualidade, manutenção, dimensional e alterações no processo. Ele será a principal fonte de informação sobre as identificações dos principais problemas, pois alarma sobre o que está gerando-os e como agir de forma corretiva.

3.2 Materiais

A análise será feita em um bloco de motor 4 cilindros e outro de 6 cilindros da mesma família, no entanto, dados sobre os blocos e maquinários usados para a confecção deles não serão divulgados para não prejudicar a empresa e nem o cliente.

Ferramentas utilizadas serão:

- Excel para processamento de dados;
- Site *draw.oi* para confecção dos diagramas;
- MiniTab 19.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Etapa de planejamento PDCA

Nessa etapa foi feita a análise de quais dados seriam necessários para fazê-la, utilizando as ferramentas que a empresa proporciona para coleta de informações, através de sistemas próprios e o software de gestão SAP, onde contém todas as descrições de produção. No planejamento foi definido identificar o bloco com maior defeito e atuar sobre ele, para achar as raízes do problema e fazer a confirmação delas. Após comprovadas, propor ações e melhorias.

As ferramentas que foram selecionadas para ajudar a identificar as causas são:

- Diagrama de causa e efeito;
- Gráfico de Pareto;
- SIPOC;
- Indicador PPM;
- Series temporais;
- Croqui de mapeamento de peça;
- Matriz de priorização.

4.2 Etapa de realização do planejado do PDCA

Primeiro confeccionou-se o SIPOC, que encontrasse abaixo no quadro 1, para verificar as entradas e saídas que a peça tem no processo de fundição: Para uma visão macro do processo divide-se em cinco etapas:

- Primeira quem está fornecendo produto;
- Segundo o produto fornecido que são as entradas;
- Terceiro o processo que irá ocorrer nesse produto;
- Quarta o produto após sofrer a alteração que são as saídas;
- Quinta etapa quem irá receber esse novo produto o cliente.

Quadro 1 - SIPOC dos processos de fundição (continua)

Fornecedores (Suppliers)	Entradas (Inputs)	Processo/Sub-processo (Process)	Saídas (Outputs)	Cientes (Clients)
Cientes	É fornecido normas desenhos 2D e 3D, especificações.	Estudo e viabilidade pela engenharia de produto	Cronograma, fluxogramas, projeto de ferramentas (caixas de macho, dispositivos)	Processo de fundição
Fornecedores de matéria prima e ferramentais	Matéria prima: areia, catalisador, resinas e demais matérias para confecção da areia. Ferramentais (caixa de macho e dispositivos macharia)	Produção dos machos de areia	Montagem dos pacotes de macho	Moldagem
Fornecedores de matéria prima, ferramentais e macharia	Fornecedores de areia para molde. Ferramental de moldagem (modelos e dispositivos) Macharia fornece o pacote de macho	Moldagem	Pacote de macho anexado ao molde pronto para vazamento	Fusão
Fornecedor das matérias primas (sucateiros, coqueiras, minerações...)	Coque Sucata Ferro gusa Ligas metálicas	Fundir o metal	Metal líquido com as devidas correções pronto para o vazamento	Vazamento
Fusão	Metal líquido com as devidas correções	Vazamento do metal liquido no molde.	Preenchimento do molde com metal liquido	Desmoldagem Quebra de canais
Moldagem peças bruta	Peças brutas ainda com os canais de alimentação da passada pelo processo de resfriamento.	Desmoldar e quebrar canais	Peças bruta sem nenhum acabamento	Pré acabamento
Quebra de canais	Peça desmoldada e sem canais	Jateamento e esmerilhamento	Peça bruta pré acabada	Acabamento

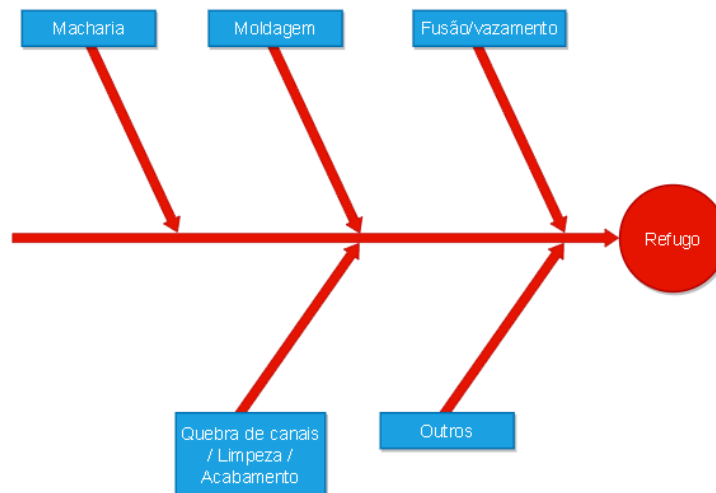
Quadro 2 - SIPOC dos processos de fundição (conclusão)

Pré acabamento	Peças com primeira limpeza realizada	Jateamento, esmerilhação, ensaios não destrutivos, inspeção, análise de refugo, pintura, oleação, e embalagem	Peça bruta acabada, pintada, embalada	Usinagem
----------------	--------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------	----------

Fonte: Autoria própria (2022)

Após um conhecimento maior do processo, foi adaptado um gráfico de causa e efeito para ter uma noção dos defeitos que causam o refugo e de onde eles se originam: macharia, moldagem, fusão/vazamento, quebra de canais/limpeza/acabamento e outros que não ocorrem nos desenvolvimentos normais.

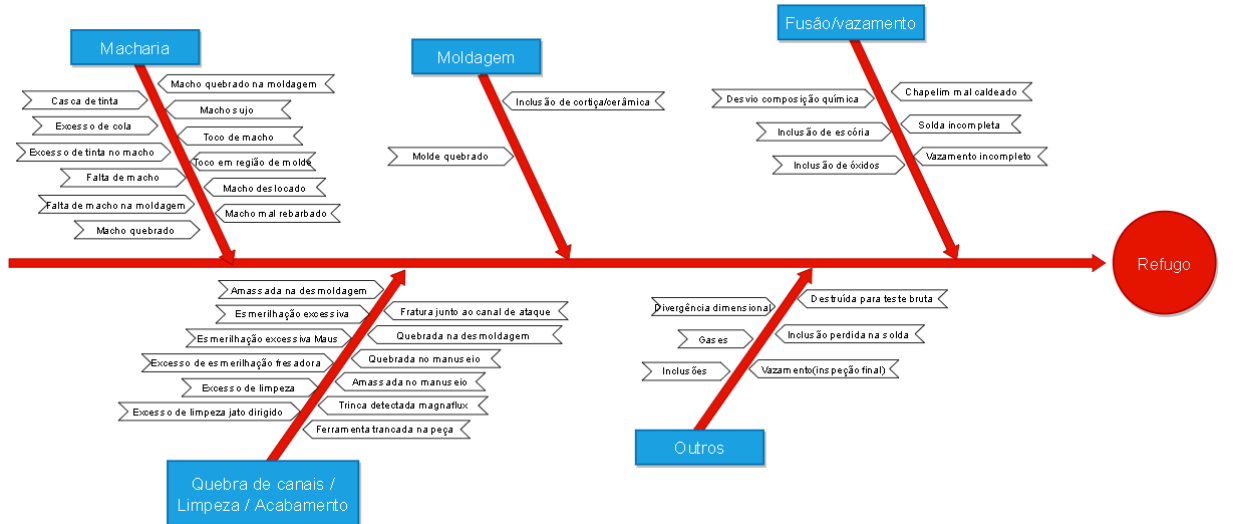
Figura 20 destaca-se um diagrama de causa e efeito adaptado para distinguir qual processo está levando a peça ao refugo. Nesta fase a coleta de dados sobre o processo ajuda na visualização dele, assim, construiu-se dois diagramas que estão dispostos nas figuras 21 e 22 para o bloco 4 e 6 cilindros respectivamente, identificando as suas causas e subcausas que geram o refugo.

Figura 20 - Ishikawa por processo

Fonte: Autoria própria (2022)

Na Figura 21 foi alocado todos os defeitos em seus respectivos processos, assim construídas as subcausas referente ao bloco de 4 cilindros.

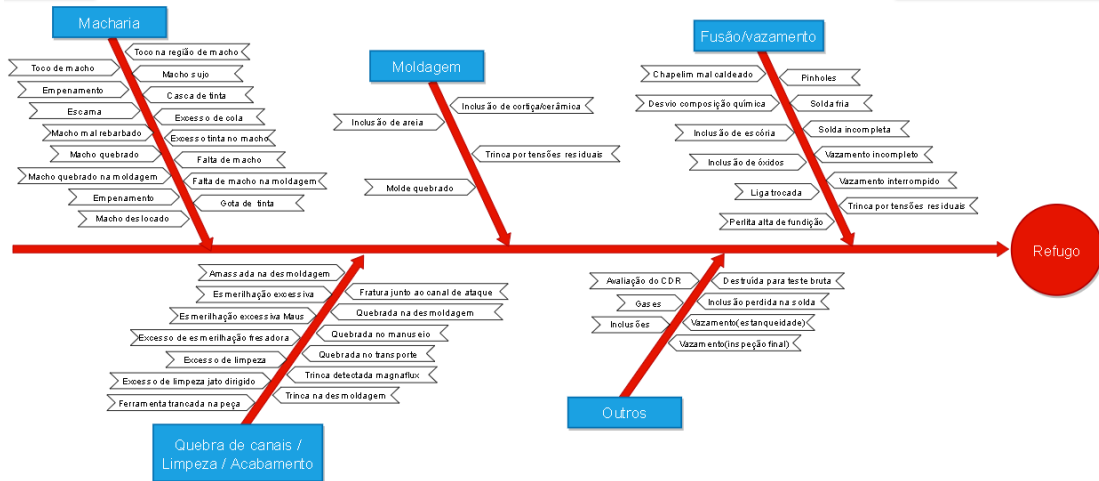
Figura 21 - Ishikawa completo bloco 4 cilindros



Fonte: Autoria própria (2022)

Do mesmo modo na figura 22 foi alocado todos os defeitos em seus respectivos processos, dessa forma construídas as subcausas referentes ao bloco de 6 cilindros.

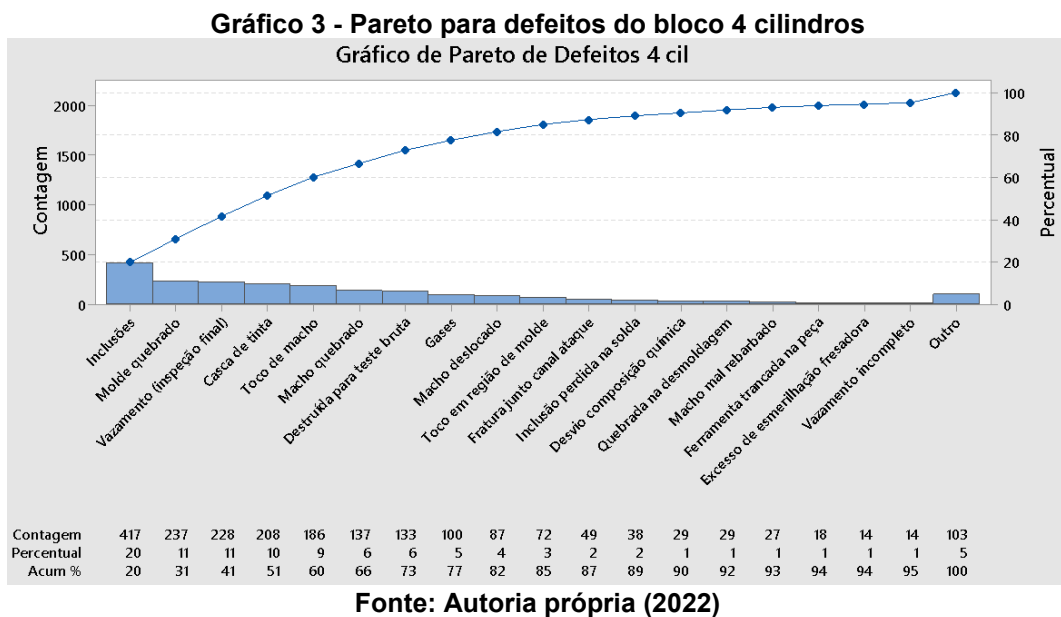
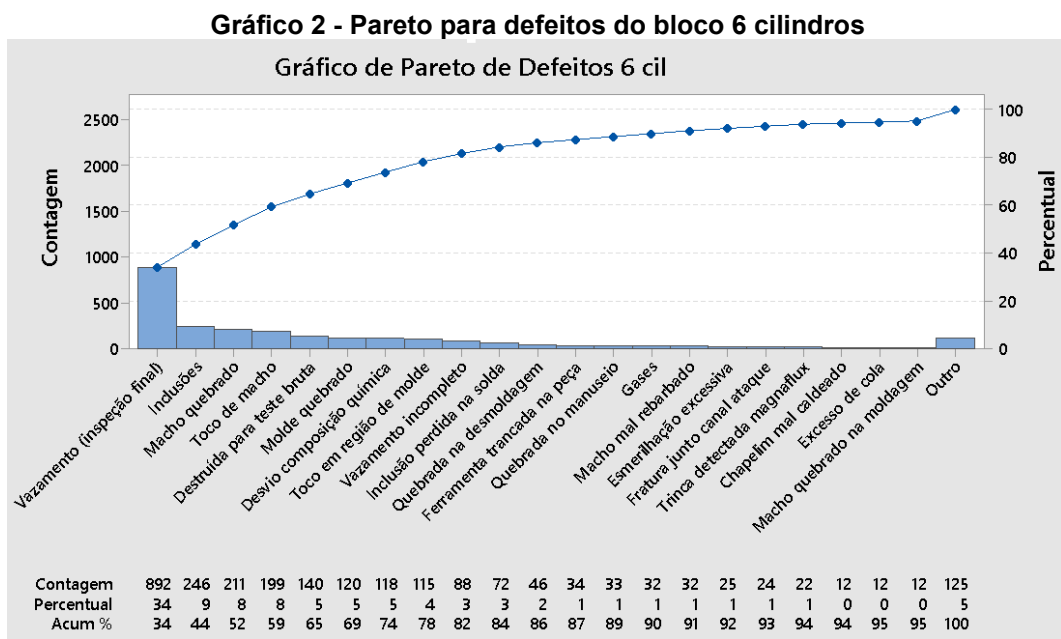
Figura 22 - Ishikawa completo bloco 6 cilindros



Fonte: Autoria própria (2022)

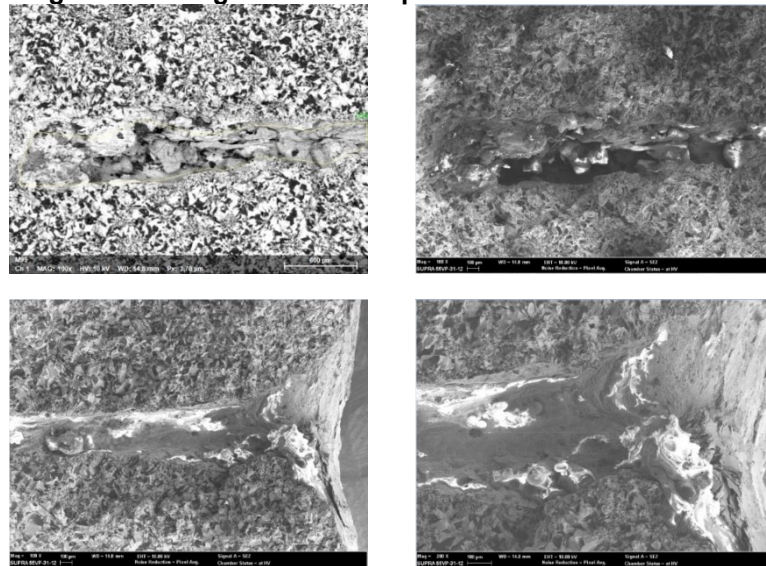
Depois de realizar o Ishikawa para melhor separação dos problemas, há necessidade de quantificá-los e dispô-los em gráficos de Pareto para verificar quais os principais defeitos.

Os dados foram obtidos através de planilhas que são constantemente alimentadas com os refugos do dia, assim, obteve-se uma planilha do mês de janeiro até dezembro de 2021 e otimizou-se os dados para fazer o estudo. Para cada bloco foi feito o gráfico de Pareto que auxiliou na quantificação dos defeitos. Que encontram-se nos gráficos 2 e 3 abaixo respectivamente.



Como planejado, identificou-se o bloco que precisaria de uma atuação mais urgente, sendo ele o de 6 cilindros, pois foi identificado que o problema principal apontado no gráfico está gerando sozinho, 34 % do refugo no bloco citado. Assim, analisaram-se possíveis soluções para o maior defeito encontrado no bloco 6 cilindros, que no caso foi o vazamento na inspeção final que é identificado através do ensaio não destrutivo de líquido penetrante. A empresa realizou estudo metalográfico na peça e a enviou para uma análise em microscópio eletrônico de varredura (MEV) para identificar a origem do defeito.

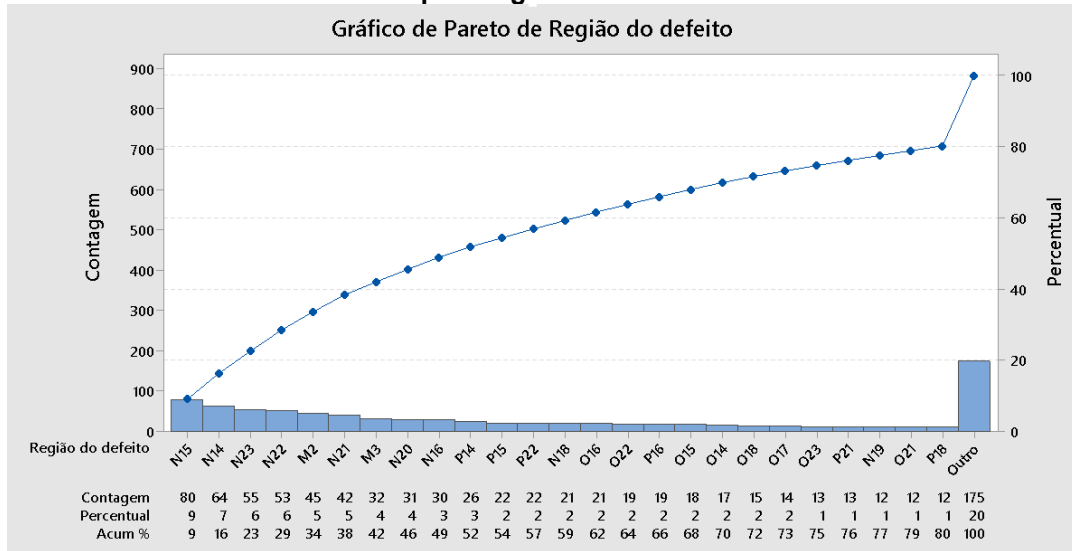
Figura 23 - Imagens microscópicas do defeito de inclusão



Fonte: Empresa Tupy S/A (2022)

Através das imagens foi confirmado que houve uma inclusão de óxidos que atravessou a parede do bloco, dando origem ao vazamento pelo líquido penetrante, assim refugando a peça. Com a identificação da origem do problema, realizou-se uma estratificação usando o auxílio do gráfico de Pareto, representado abaixo pelo gráfico 4, para identificar a região do bloco onde ocorre mais o vazamento, através da coleta de dados de apontamento que a empresa faz da região onde estava o defeito que levou a peça ao refugo.

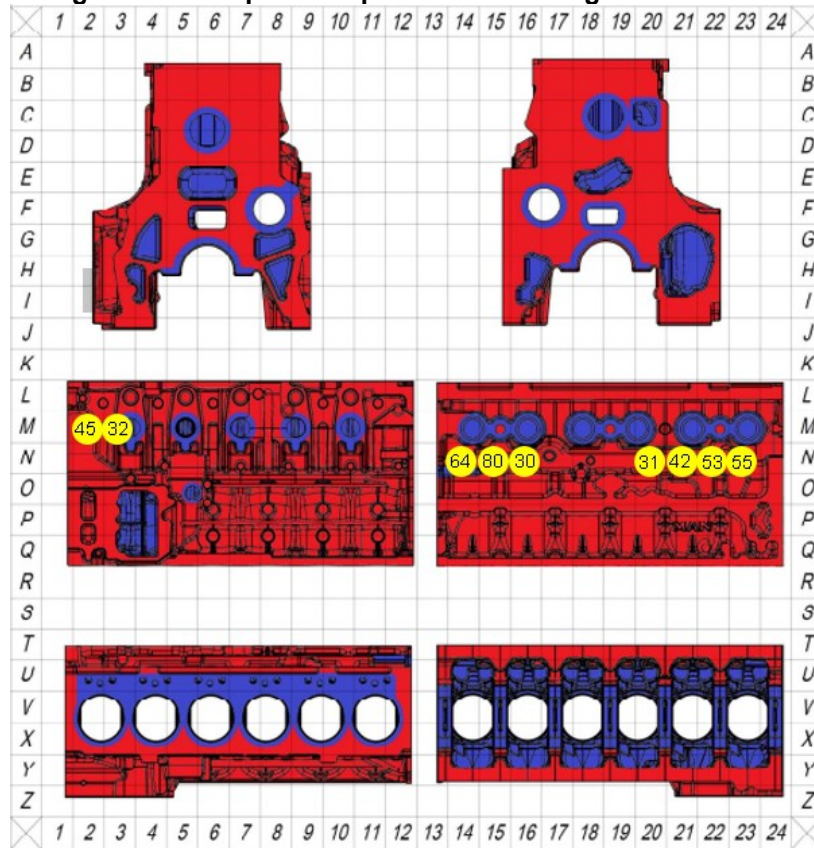
Gráfico 4 - Pareto para regiões de ocorrência do defeito



Fonte: Autoria própria (2022)

É possível verificar através do gráfico uma predominância na região N, tendo a maioria dos defeitos e o ponto N15, onde mais ocorreu o vazamento. Com o croqui abaixo, verifica-se em qual região do bloco isso ocorre.

Figura 24 - Croqui com apontamento de regiões do defeito



Fonte: Empresa Tupy S/A (2022)

Com os dados, verificou-se que 70 % das inclusões ocorrem em uma única face. Esta região fica em contato com a parte inferior do molde. Assim, quando ocorre a formação de gases, os óxidos não têm por onde sair, causando a inclusão na peça.

Figura 25 abaixo mostra o bloco com a aplicação do líquido penetrante e imagens da análise feita pelo laboratório, identificando o defeito como inclusão de óxidos.

Figura 25 - Bloco com aplicação de líquido penetrante e região de análise metalográfica



Fonte: Empresa Tupy S/A (2022)

O indicador que será utilizado será o PPM do refugo mensal, representado no gráfico 5 logo abaixo, que é dado pelo quociente da quantidade de peças refugadas pela quantidade total de peças produzidas no mês, multiplicado por 1×10^6 .

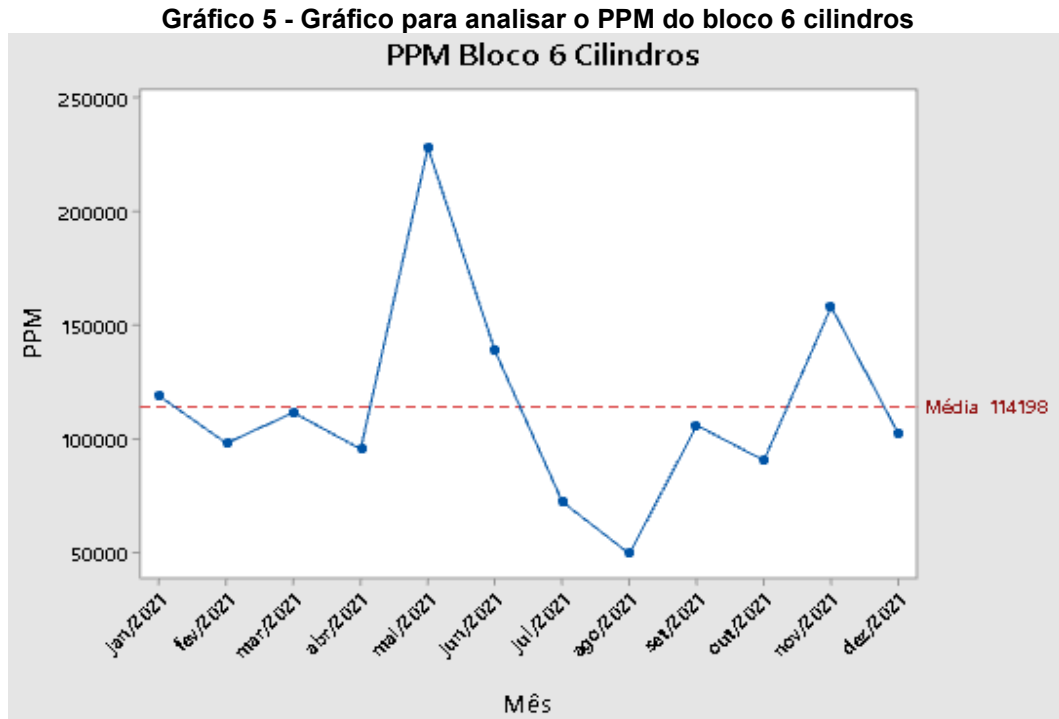
Sua formula é:

$$PPM \text{ Refugo}_{\text{mês}} = \frac{qtdRef_{\text{mês}}}{qtdTotal_{\text{mês}}} \times 1.10^6$$

PPM Refugo = PPM de Refugo Mensal;

qtdRef = Quantidade de peças refugadas no mês;

qtdTotal = Quantidade total de peças fundidas no mês.



Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 26 – Dados estatísticos da amostra de PPM do bloco 6 cilindros

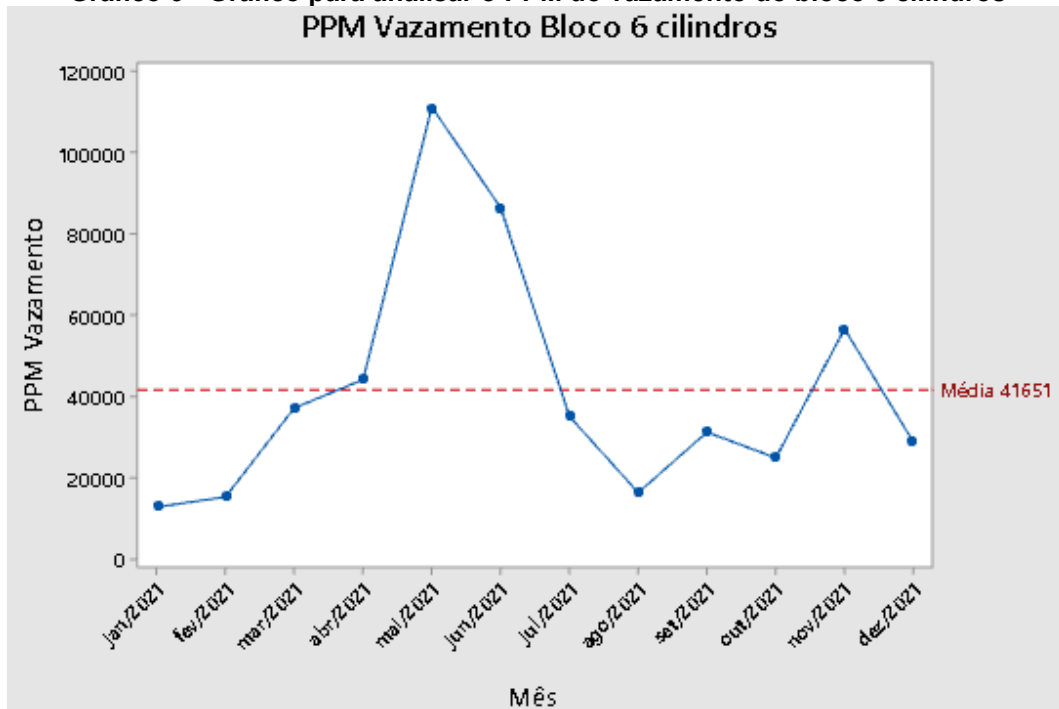
Estatísticas

Variável	Média	DesvPad	Mínimo	Máximo	Amplitude
PPM defeitos	114198	45545	49527	228114	178587

Fonte: Autoria própria (2022)

Pode-se ver através do gráfico 6 um elevado PPM para o refugo interno desse bloco. Diminuindo-o, trará um grande efeito no refugo em geral. Estratificando mais os dados, foi feito o gráfico de PPM somente para o defeito de vazamento, que encontra-se no gráfico 6 logo abaixo, no qual será feita a análise.

Gráfico 6 - Gráfico para analisar o PPM do vazamento do bloco 6 cilindros
PPM Vazamento Bloco 6 cilindros



Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 27 – Dados estatísticos da amostra de PPM do bloco 6 cilindros
Estatísticas

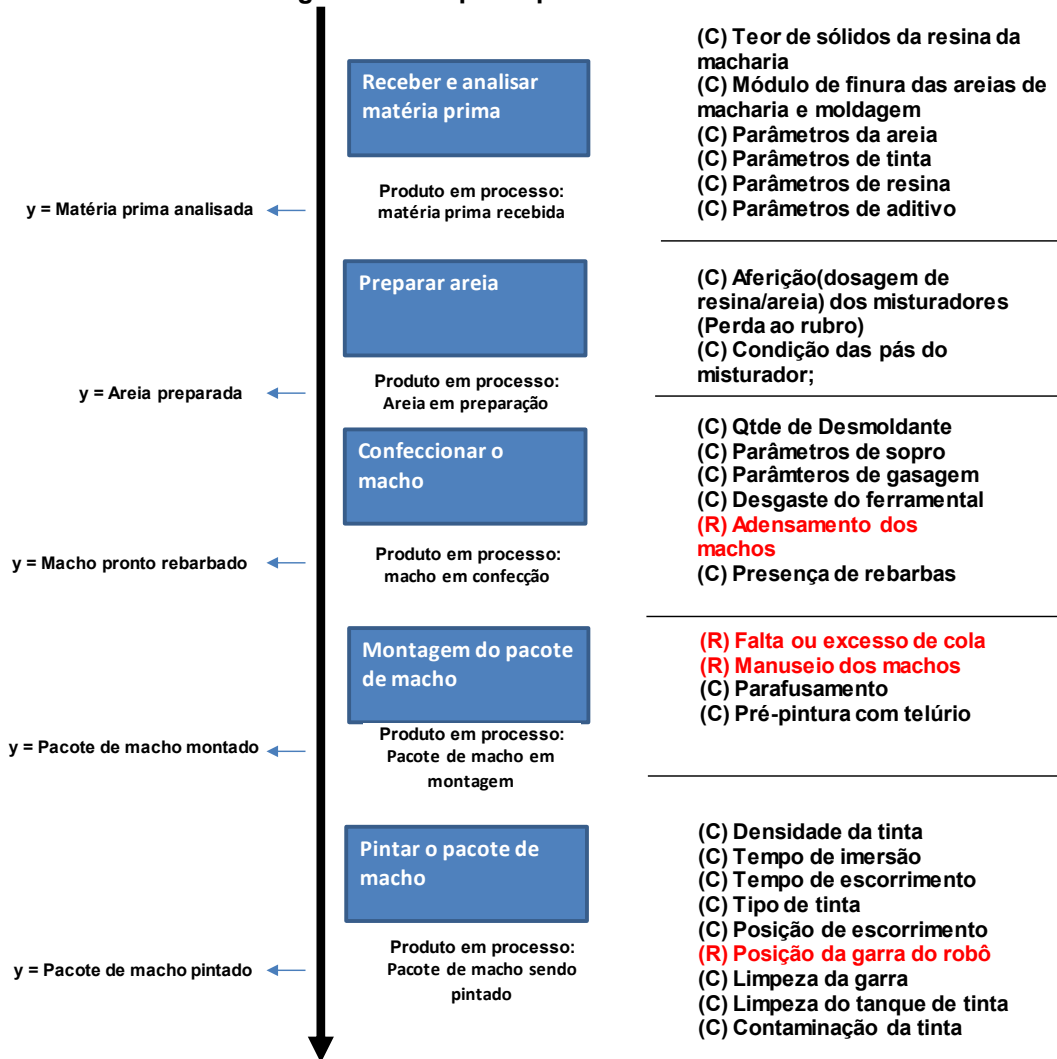
Variável	Média	DesvPad	Mínimo	Máximo	Amplitude
PPM Vazamento	41651	29884	12820	111053	98233

Fonte: Autoria própria (2022)

Identifica-se também que para um único defeito da peça, tem-se um elevado PPM. Com base nesses indicadores, pode-se analisar os próximos comportamentos da peça em relação ao defeito.

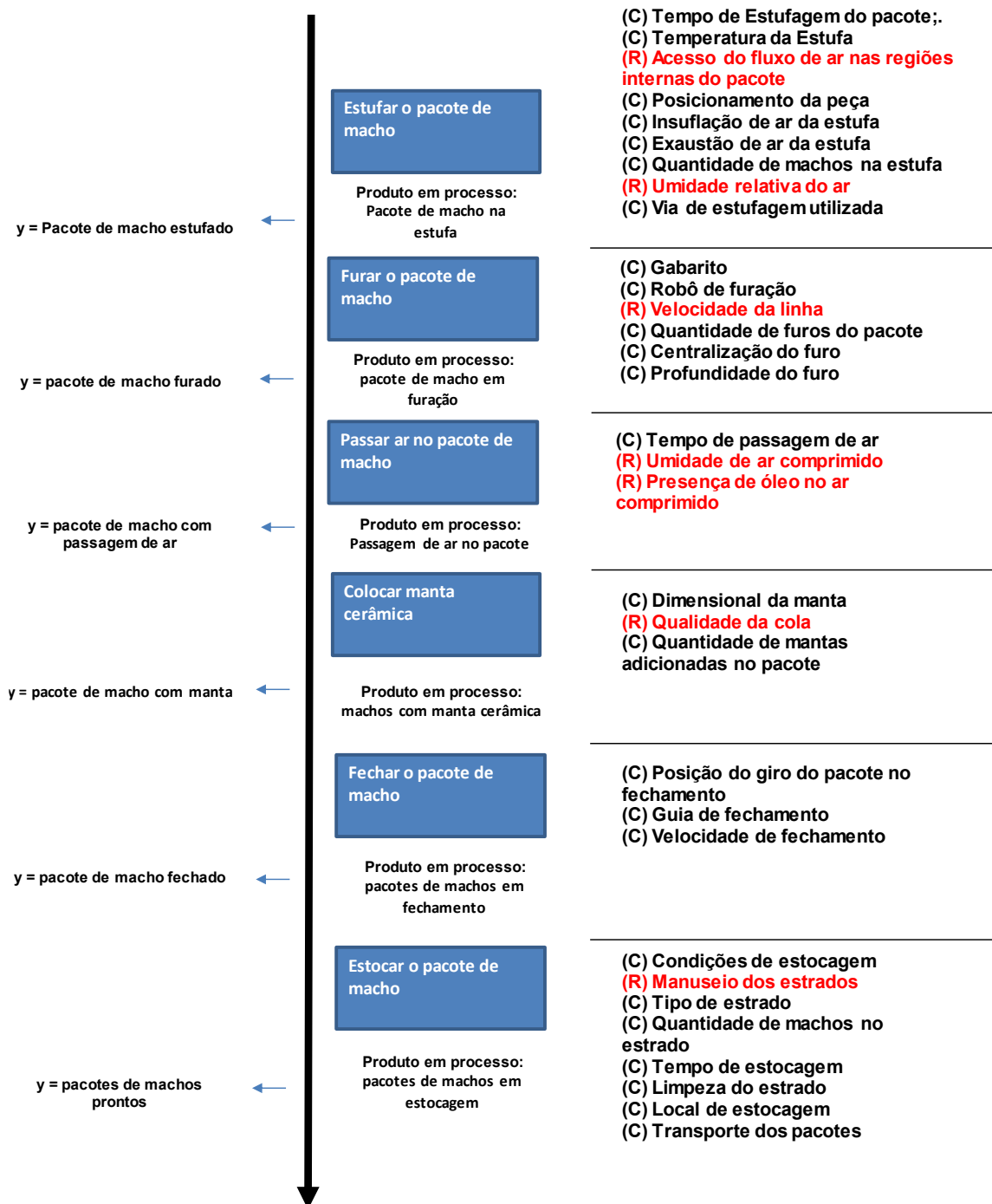
Através de materiais da empresa foi realizado um mapa de processos detalhado para três que podem dar origem ao defeito: macharia, moldagem e fusão. Esse mapa de processo tem a mesma ideia do SIPOC, porém é mais informativo. Ao lado dos parâmetros do processo é colocada a letra 'C' para aqueles que podem ser controlados, como a quantidade ou tempo aplicado. A letra 'R' seria um parâmetro de ruído, onde não tem-se controle dele, como a umidade do ar. Os parâmetros identificados com a letra 'y' são os produtos gerados ao final de cada etapa do processo.

Figura 28 – Mapa de processos macharia



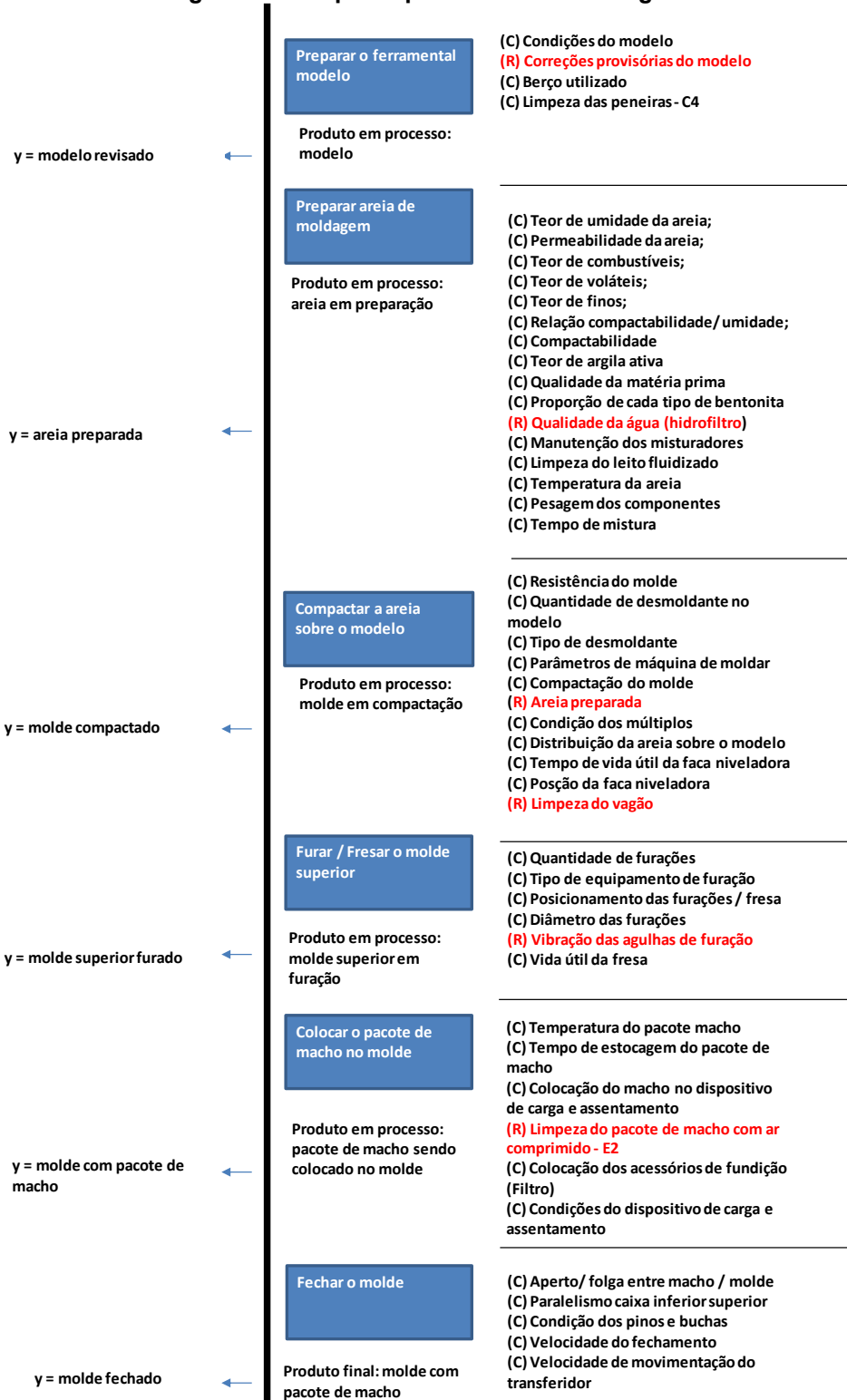
Fonte: : Autoria própria (2022)

Figura 29 – Continuação mapa de processos macharia



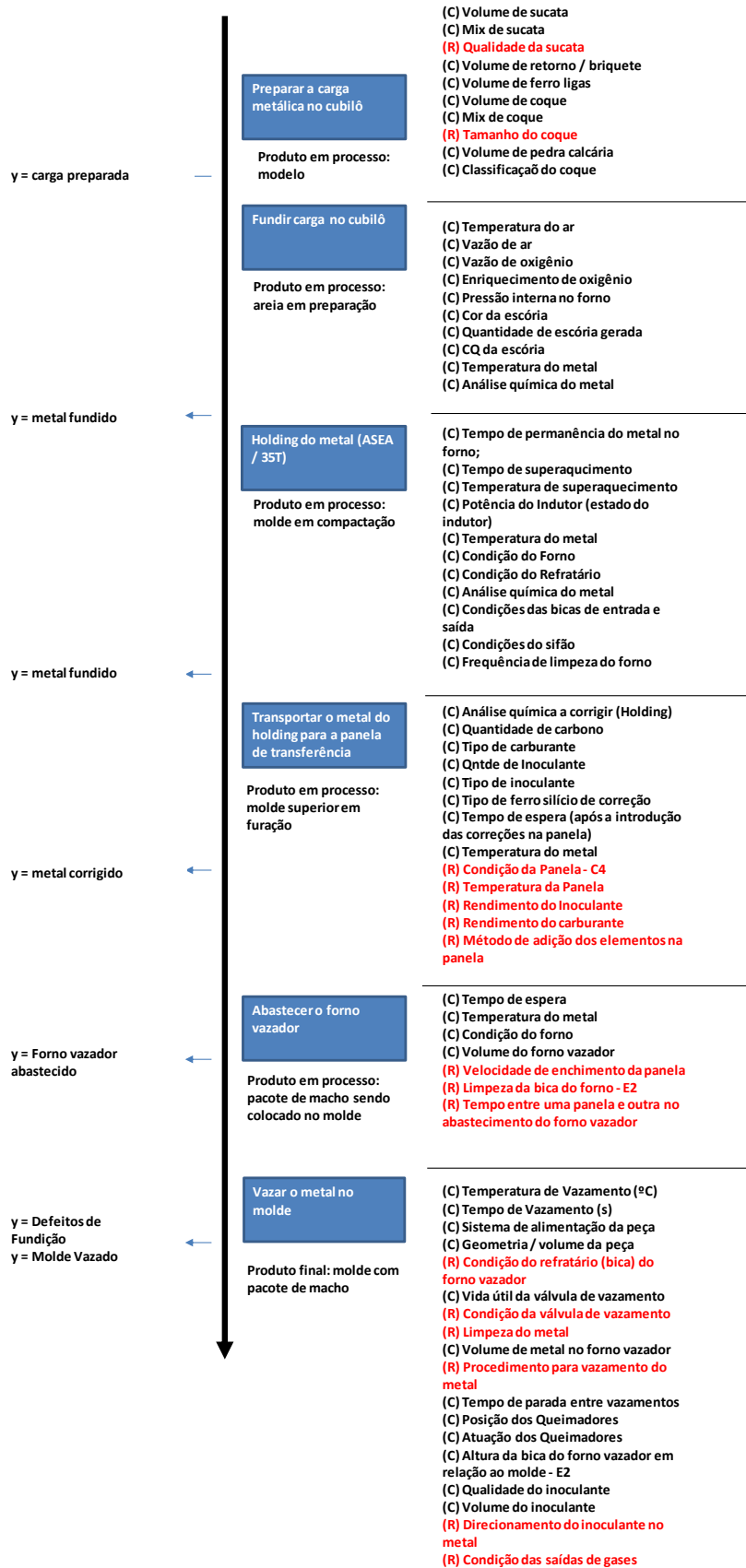
Fonte: : Autoria própria (2022)

Figura 30 – Mapa de processos de moldagem



Fonte : Autoria própria (2022)

Figura 31 – Mapa de processos de fusão / vazamento



Fonte: Autoria própria (2022)

Depois de uma reunião com o especialista do processo, identificou-se as causas que mais poderiam afetar a peça causando a inclusão. Após essas informações que foram colocadas na matriz de priorização, houve a identificação das causas de mais impacto, urgência na correção e ocorrência

Para a matriz tem-se a pontuação de correlação, 5 para fortes, 3 para médias, 1 para fracas e 0 para nenhuma correlação.

Tabela 1 – Matriz de priorização (continua)

Item	Imputs (Entrada)		Impacto	Difícil Detecção	Ocorrência	Total
	Nº	Peso				
Processo Macharia	1	Quantidade desmoldante	5	3	5	100
	2	Densidade da tinta	5	3	1	72
	3	Tempo de imersão	5	3	3	86
	4	Tipo de tinta	3	5	3	76
	5	posição de escoamento	3	3	3	66
	6	Contaminação tinta	3	3	1	52
	7	tempo de passagem de ar	3	1	1	42
	8	Umidade de ar comprimido	5	5	3	96
	9	Presença de óleo no ar comprimido	3	3	3	66
Molgadem	10	Teor de umidade da areia	5	5	5	110
	11	Permeabilidade da areia / molde	3	3	1	52
	12	Compactabilidade	3	1	3	56
	13	Teor de argila ativa	3	3	3	66
	14	Qualidade da matéria prima	5	3	3	86
	15	Temperatura da areia de moldagem	3	3	1	52
	16	Teor de voláteis	5	3	5	100
	17	Proporção de cada tipo de bentonita	5	3	5	100
	18	Qualidade da água (hidrofiltro)	5	3	3	86
	19	Manutenção dos misturadores	3	3	1	52
	20	Teor de finos	3	1	3	56
	21	Teor de combustíveis	5	3	5	100
	22	Quantidade desmoldante no molde	5	5	5	110
	23	Tipo de desmoldante	5	5	5	110
	24	Parâmetros da máquina de moldar	3	1	3	56
	25	Compactação do molde	3	3	3	66
	26	Areia preparada	5	5	5	110
	27	Condições dos múltiplos	3	3	1	52
	28	Distribuição da areia sobre o modelo	5	3	3	86
	29	Temperatura pacote de macho	5	3	3	86
	30	tempo de estocagem do pacote de macho	5	5	3	96
	31	Limpeza do pacote de macho com ar comprimido	5	3	3	86

Tabela 2 – Matriz de priorização (conclusão)

Fusão	32	Análise química do metal	5	5	5	110
	33	Vazão de ar	3	3	1	52
	34	Pressão interna no forno	3	3	1	52
	35	Cor da escória	3	3	3	66
	36	Quantidade de escória gerada	5	5	3	96
	37	CQ da escória	5	5	3	96
	38	Vazão de oxigênio	5	5	3	96
	39	Temperatura do metal	5	5	5	110
	40	Tipo de inoculante	5	5	5	110
	41	Tipo de ferro silício de correção	5	3	5	100
	43	Condição do forno	5	3	5	100
	44	Tempo de espera	5	5	3	96
	45	Temperatura de Vazamento (°C)	5	5	5	110
	46	Tempo de Vazamento (s)	5	3	5	100
	47	Sistema de alimentação da peça	5	5	5	110
	48	Qualidade do inoculante	5	5	5	110
	49	Volume do inoculante	5	5	5	110
	50	Volume de metal no forno vazador	5	3	5	100
	51	Geometria / volume da peça	5	5	5	110

Fonte: Autoria própria (2022)

Com a ajuda da matriz de priorização foram obtidas as causas de maior relevância com o defeito de inclusão de óxidos. Pode-se realizar estudo detalhado para cada causa e confirmar se realmente interfere no processo gerando refugo.

4.3 Etapa de avaliação dos resultados e possíveis melhorias

Foram colocadas na matriz de priorização as principais causas que estariam relacionadas com o defeito de vazamento, e de todas elas, foram priorizadas as que tiveram a maior pontuação.

Ao todo, foram doze causas, porém, visto que algumas delas estão relacionadas ao mesmo problema como, o inoculante, a temperatura e o vazamento. Assim chega-se a oito principais causas. Elas foram estudadas para verificar a real relação que elas têm com o defeito de vazamento, devido a inclusão de óxido e identificar possíveis melhorias e lições aprendidas no processo.

4.3.1 Temperatura e tempo de vazamento do metal

Temperatura está diretamente ligada ao vazamento, pois foi comprovado que o defeito que gera o vazamento é um óxido que forma-se a 1300 °C, assim nota-se que quando a peça é vazada com menos de 1415 °C chega-se muito rápido a temperatura de 1300 °C conseqüentemente gerando o óxido, verificou-se que 80 % das peças que foram vazadas com menos de 1415 °C tiveram defeito, e peças que

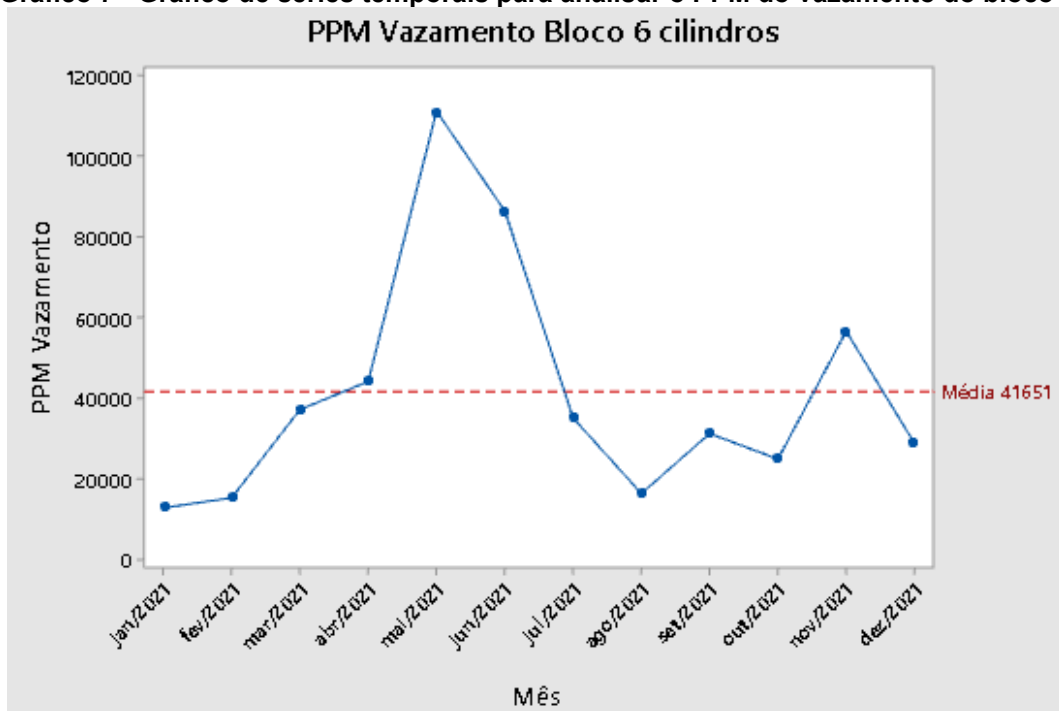
foram vazadas com menos de 1400 °C o defeito espalha-se por mais pontos. Porém, não pode-se aumentar muito a temperatura, devido a ocorrência de penetração de metal na peça, agredindo muito o molde. Então, foi estabelecido uma faixa de temperatura para tentar evitar ao máximo a formação desse óxido. Nota-se ao longo do tempo que quando a temperatura está abaixo dessa faixa, a peça tende a ter o vazamento criado pela inclusão de óxidos. Com isso, um dos fatores mais importantes para o controle do vazamento é manter a temperatura dentro do especificado.

4.3.2 Quantidade e qualidade de desmoldante

A causa comprovada realmente afeta a peça, foram feitas provas onde o intervalo de aplicação do desmoldante trocou de uma aplicação por molde para uma aplicação a cada cinco moldes, utilizando o diesel como desmoldante. Com menos substâncias para reagir com a areia e metal, notou-se a melhora. A areia de faceamento do molde contém muita umidade, e juntando com a tinta de pintura do molde, que é a base d'água, gerou-se muitos gases, facilitando a formação de óxidos.

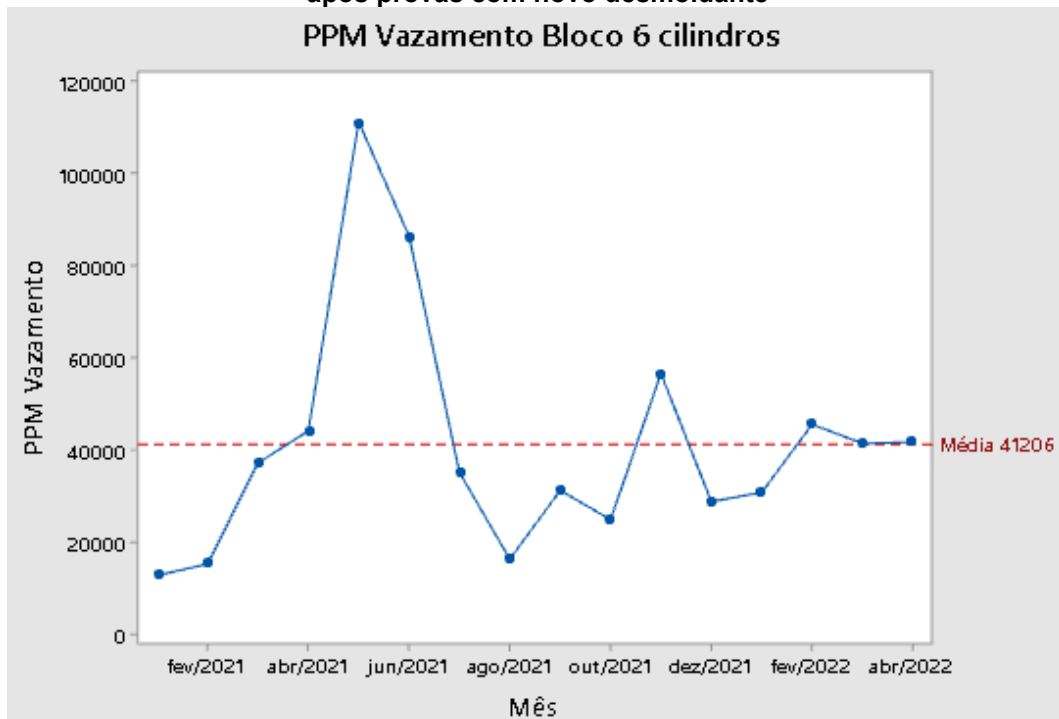
Após verificar a eficácia, alterando a quantidade de desmoldante, foi trocado o uso de óleo diesel e feitas provas com uma substância própria de desmoldante, assim aumentando a qualidade dele. Resultou-se então, que o desmoldante tem muita influência com relação a formação de gases que geram os óxidos, que por sua vez, causam o vazamento na peça. O desmoldante novo foi colocado definitivamente no processo.

Gráfico 7 - Gráfico de séries temporais para analisar o PPM do vazamento do bloco 6
PPM Vazamento Bloco 6 cilindros



Fonte: Autoria própria (2022)

Gráfico 8 - Gráfico de séries temporais para analisar o PPM do vazamento do bloco 6 cilindros
após provas com novo desmoldante



Fonte: Autoria própria (2022)

As provas com novo desmoldante começaram do mês de setembro até o mês de outubro, onde pode-se ver uma queda no PPM nos gráficos 7 e 8 acima, com uma

média de queda de 41651 PMM para 41206 PPM, até o momento. Por mais que a diferença não seja tão grande, com uma queda de 1,2 % na média de refugo, há uma economia de R\$ 1.719,35 por mês e se manter essa média, durante o ano seriam R\$ 20.632,20 economizados.

4.3.3 Areia de preparação/umidade areia

A área de preparação ou área de faceamento tem cerca de 3,8 % de água e o teor de argila é alto, assim acumulando muita umidade. Quando utilizada, pode aumentar a formação de gases e, conseqüentemente, a geração de óxidos. Durante três meses foi retirado a areia de faceamento e a sua relação com o defeito não foi como esperado. A princípio, a relação da areia de faceamento com o defeito não é comprovada para diminuir o defeito de vazamento, devido a inclusão de óxidos, porém, com a troca do óleo diesel por desmoldante de melhor qualidade, não houve testes novamente retirando a areia. Novas provas serão programadas para realizar a retirada aos poucos da areia e verificar se a causa se comprova, de fato.

4.3.4 Geometria / Volume da peça

A parede onde ocorre esse vazamento já foi aumentada ao limite permitido pelo cliente e não houve melhora, pois o óxido continua se formando e à atravessa. Assim, mexer novamente na peça não seria eficaz.

4.3.5 Inoculante

Inoculante, a princípio, tem como função melhorar as propriedades mecânicas controlando a sua microestrutura final. Em testes feitos usando um inoculante diferente, notou-se que no começo houve uma melhora, porém, em produções normais não obteve mais mudanças. Segundo literatura, o inoculante ajuda a diminuir o super resfriamento. Assim, ele mantém a temperatura mais controlada, e devido a isso, ajudaria na formação de óxidos, já que eles se formam na baixa temperatura. Em contrapartida, ele também gera gases que podem vir a ajudar na formação de óxidos. Devido a esses fatos, não se confirmou que o inoculante diminuiria o defeito. Contudo, ele altera sim no processo, e estudos podem ser feitos sobre quantidade e diferentes tipos de inoculantes que podem vir a reduzir o refugo de vazamento.

4.3.7 Sistema de alimentação

O sistema de alimentação aparece como último recurso, já que necessita de projeto e aprovação das mudanças pelo cliente. Porém, foram feitos estudos para mudar a alimentação através do software magma, que simula o processo de vazamento da peça. Com isso, viu-se que a alimentação estava com alguns pontos com turbulência, se espalhando de forma rápida e aquecem mais as extremidades da peça, deixando a região central com um metal mais frio, que tende a gerar óxidos. Com a nova alimentação que foi calculada, o metal entra mais suave e mais quente pelo meio, com sentido do fluxo: centro para as extremidades. Com o “Know How” (conhecimento prático, saber fazer) da empresa, acredita-se que essa nova alimentação tem grandes chances de diminuir a formação dos óxidos, que resulta no vazamento da peça. O sistema de alimentação já está projetado e aguardando a aprovação do cliente para implementar a melhoria.

4.3.8 Análise química do metal

Com antigos históricos sobre a peça, foi encontrado um estudo relacionado ao teor de enxofre no metal base (GHW), que em taxas altas contribui para o aumento do vazamento por líquido penetrante. Ocorre devido à grande quantidade formada de sulfetos no banho metálico. Eles são formados e por sua vez, não são filtrados. Na solidificação da peça eles aparecem como pequenas inclusões, fazendo com que a peça tenha vazamento. Esse é um ponto que nos últimos anos não foi mencionado, ao analisar algumas composições de peças que tiveram o defeito, foi visto um teor de enxofre alto. Com base em estudos antigos pela empresa, colocavam o ideal de 0,14 % de enxofre na composição, devido a isso, acredita-se que deve ser verificado as quantidades de enxofre nos últimos anos, para averiguar se ele ainda está influenciando na formação dessas inclusões. Usa-se como base 0,14 % de enxofre, como mostrado nas pesquisas antigas feitas pela empresa, para a realização de estudos.

Da mesma forma que o item anterior, sabe-se que a composição química tem grande influência na formação de óxido, que pode gerar o defeito de vazamento na peça. Conversando com especialista, verificou-se que não havia nenhum estudo para uma composição química ideal. Propôs-se realizar um estudo de histórico da

composição da peça, e através de estatística verificar ao longo do tempo quais percentuais de elementos afetaram mais a peça e geraram o defeito. Ao mesmo tempo, analisar a composição química das peças que saíram sem defeito nenhum. O especialista achou válido, e estudos serão realizados para verificar a composição ideal, para evitar esse e possivelmente outros defeitos.

5 CONCLUSÃO

O objetivo do trabalho foi alcançado, estratificou-se os dados e encontrou-se o defeito que mais gera refugo. Utilizando a metodologia PDCA, foi possível ver as causas que estavam relacionadas a esse defeito, e fazendo a priorização delas, encontraram-se oito fatores que estavam relacionados ao defeito. Estudando cada fator ao longo do trabalho, notou-se que especialistas da empresa já haviam feito melhorias que estavam relacionadas com algum desses fatores, que puderam ser comprovados na sua relação direta ou não para o aumento do defeito. Esses fatores comprovados foram de grande utilidade, pois ações podem ser replicadas para o bloco de quatro cilindros e outros que possam estar sofrendo com o mesmo problema.

Alguns fatores não foram comprovados, porém foi importante o estudo sobre eles, há muitas ações realizadas nesse bloco devido ao seu longo tempo de produção, esses fatores que não foram comprovados, futuramente podem ser a solução do problema. Devido a isso, os especialistas concordam com o início de pesquisa relacionada aos temas do histórico da composição química, objetivando verificar ao longo dos anos a melhor composição. Sobre ela, há trabalhos similares na empresa onde utilizando da estatística, diminui-se muito o defeito que estava afetando a peça. Com isso, a ideia será replicar o processo para o bloco seis cilindros, encontrando uma composição onde seja livre de defeitos ou próximo disso.

Cita-se o percentual de enxofre, que foi verificado que tem relação direta com o defeito de vazamento. Porém, estudos já realizados não mostraram verificação de como anda o percentual de enxofre e se ele ainda está causando o defeito quando muito elevado, se tornando um outro possível campo para estudo e tomada de ação, que pode se transformar em uma solução para o defeito.

Diante dos fatos mencionados, um ponto muito importante ressaltado é a instabilidade do processo, onde diversas vezes relataram-se ações que resultaram em uma grande melhoria, porém, mesmo seguindo o processo com ela implantada, a peça volta a sofrer um declínio em sua qualidade, um dos estudos de grande importância seria verificar a volatilidade do processo.

REFERÊNCIAS

- BARACHO, LUCIANO LOBO DE ALMEIDA; PAULA. ANDERSAN DOS SANTOS; MENDES, MEIRE FIGUEIRA; DINIZ, SAULO BRINCO. **AVALIAÇÃO DA ADIÇÃO PADRÃO DO INOCULANTE (FESi T2) NA TRANSFERÊNCIA FORNO-PANELA NA PRODUÇÃO DE FERRO FUNDIDO NODULAR.** 2015.
- BRAGA JR, Agnaldo F. **Defeitos em peças fabricadas pelo processo de fundição.** 2º Workshop LABMAT da área da fundição. Disponível em:<http://www.jmmsassessoria.com.br/events> . Acesso em 15 jul. 2021.
- CAMPBELL, John **The New Metallurgy of Cast Metals.** CASTINGS. Second Edition, 2003.
- CAMPOS, Vicente Falconi. **Gerenciamento da rotina do trabalho do dia-a-dia.** Nova Lima: INGD Tecnologia e Serviços Ltda., 2004.
- CAMPOS, Vicente Falconi. **TQC: controle da qualidade total** 8.ed 2004.
- CHELLADURAI,C., MOHAN,.N.S., HARIHARASHAYEE,D., MANIKANDAN,S., SIVAPERUMAL, P. **Analyzing the casting defects in small scale casting industry** 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785320339614>. Acesso em: 22 jul. 2021.
- CHIAVERINI, Vincent. Tecnologia mecânica, V.2. **Processos de fabricação e tratamento** 2.ed.-São Paulo: Mcgraw-Hill, 1986.
- FM2S. **Certificação Lean Seis Sigma Yellow Belt.** (Acesso 2022).
- ISHIKAWA, Kaoru. **Guide to Quality Control.** Asian Productivity Organization 1976
- MACHADO, Simone Silva. **Gestão da Qualidade.** Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. Inhumas-GO 2012
- MARQUES, Andreia Isabel Granadeiro Cercas. **Diagnóstico de um defeito de fundição Aplicabilidade da simulação numérica em FLOWCast para previsão e resolução de defeitos.** 2008
- MEHTA,N., GOHIL, A.V., DAVE, K.G, PATE, V. B **Development of casting defect analysis module through integrated approach for small and medium scale industries** 2020. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785320369418>>. Acesso em 22 jul. 2021.
- OLIVEIRA, Emerson. **Fundição.** Disponível em: <http://joinville.ifsc.edu.br/~emerson.oliveira/Fundição/Fundição%202.pdf>. Acesso em 18 jul. 2021.

PEREIRA, Eveline **Gráfico de Pareto** 2016. Disponível em: <<http://static.sapucaia.ifsul.edu.br/professores/eveline/EST.%20QUAL.%20-%20TÉC.%20PLÁST/2ºSem/5%20Gráfico%20de%20Pareto.pdf>>. Acesso em 20 jul. 2021.

POZZI, Ricardo José. **Estudo comparativo de dois inoculantes em ferro nodular ferrítico**. 2009.

RSCP, LABATS, DEMEC, UFPR. **Defeitos de Fundição areia verde** 2017.

Disponível em:

<HTTP://FTP.DEMEC.UFPR.BR/DISCIPLINAS/TM233/ARQUIVOS%20FTP%202020/AULAS%20DE%20PROJETOS%20DE%20PEÇAS%20FUNDIDAS/>. ACESSO EM 18 JUL. 2021.

SANTOS, Adalberto Bierrembach de Souza **Drosses em ferro fundido nodular**. 1993.

SELEME, R., STADLER, H. **Controle da qualidade: as ferramentas essenciais**. Curitiba 2012.

SOARES, Gloria de Almeida. **Fundição: Mercado, Processos e Metalurgia**. 2000.