

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE MECÂNICA
ENGENHARIA MECÂNICA

GUILHERME PANZETER FORTES

**ANÁLISE DE PEÇAS REFUGADAS POR NÃO
CONFORMIDADES NO PROCESSO DE INJEÇÃO SOB
PRESSÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2021

GUILHERME PANZETER FORTES

**ANÁLISE DE PEÇAS REFUGADAS POR NÃO CONFORMIDADES NO
PROCESSO DE INJEÇÃO SOB PRESSÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, do Departamento de Acadêmico de Mecânica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Roger Navarro Verastegui

PONTA GROSSA

2021



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais.

Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



Ministério da Educação
**Universidade Tecnológica Federal do
Paraná**
Câmpus Ponta Grossa
Diretoria de Graduação e Educação
Profissional
Departamento Acadêmico de Mecânica
Bacharelado em Engenharia Mecânica



TERMO DE APROVAÇÃO

ANÁLISE DE PEÇAS REFUGADAS POR NÃO CONFORMIDADES NO PROCESSO DE INJEÇÃO SOB PRESSÃO

por
GUILHERME PANZETER FORTES

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 27 de agosto de 2021 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Roger Navarro Verástegui
Orientador

Prof. Dr. Luciano Augusto Lourençato
Membro Titular

Profa. Ma. Sandra Mara Kaminski Tramontin
Membro Titular

Prof. Dr. Marcos Eduardo Soares
Responsável pelos TCC

Prof. Dr. Roger Navarro
Verastegui
Coordenador do Curso

– O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do
Curso –

RESUMO

FORTES, Guilherme. **ANÁLISE DE PEÇAS REFUGADAS POR NÃO CONFORMIDADES NO PROCESSO DE INJEÇÃO SOB PRESSÃO. 2021.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2021.

Esse trabalho foi realizado com o objetivo de diminuir o número de peças refugadas por não conformidades no processo de injeção de alumínio sob pressão, em uma indústria de fundição no interior do Paraná. O processo de fundição de alumínio por injeção sob pressão permite a criação de peças com diferentes geometrias e alta capacidade de produção, porém essa alta produtividade pode ser praticamente toda perdida caso apareçam defeitos nas peças. Esses defeitos ocorrem por diversos fatores, e para determinar a causa deles é necessário investigar o processo de injeção e então determinar a sua causa. Para cumprir esse objetivo foi necessário entender todo o processo de injeção e identificar os defeitos presentes nesse tipo de fundição. Para auxiliar na análise das peças refugadas, foram utilizadas ferramentas da qualidade como Diagrama de Pareto, usado para determinar quais peças deveriam ser investigadas, e os 5 porquês, que auxiliaram a descobrir a raiz do problema. Como resultado, foi obtido uma queda significativa no número de peças refugadas e maior detalhamento do processo.

Palavras-chaves: Injeção sob Pressão. 5 Porquês. Defeitos de Injeção. Análise de Refugo.

ABSTRACT

FORTES, Guilherme. **ANALYSIS OF WASTED PARTS DUE TO NON-CONFORMITIES IN DIE CASTING PROCESS. 2021.** Course Conclusion Paper (Graduation)– Mechanical Engineering. Federal University of Technology - Paraná. Ponta Grossa, 2021.

This work was carried out with the objective of reducing the number of wasted pieces due to non-conformities in the process of aluminum injection under pressure, in a foundry industry in the interior of Paraná. The process of aluminum die-casting under pressure allows the creation of parts with different geometries and high production capacity, however, this high productivity can be practically be completely lost if some defects appear in the parts. These defects occur due to several factors, and to determine their cause, it is necessary to investigate the injection process first and only then determine its cause. To fulfill this objective, it was necessary to understand the entire injection process and to know the kind of defects appear in this type of foundry. To assist in the analysis of the wasted parts, some quality tools such as the Pareto Diagram were used to determine which parts should be investigated, and the 5 Whys method helped to discover the root cause of the problem. As a result, there was a significant drop in the number of wasted pieces and greater detailing of the process.

Keywords: Pressure Injection. 5 Whys. Injection Defects. Refuse Analysis

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - FSP - Câmara fria, molde aberto	13
Figura 2 - FSP - Câmara fria, molde fechado.....	13
Figura 3 - FSP - Câmara quente, molde aberto	14
Figura 4 - Câmara quente, molde fechado	15
Figura 5 - Etapas do processo de FSP	16
Figura 6 - Peça ao sair da injeção e peça pós estampagem.....	17
Figura 7 - Fluxograma do processo.....	18
Figura 8 - Porosidade.....	20
Figura 9 - Junta Fria	21
Figura 10 - Quebra	22
Figura 11 - Gráfico de Pareto	24
Figura 12 - RNC	26
Figura 13 - Relatório Diário	27
Figura 14 - Peças refugadas	28
Figura 15 - Apresentação dos 5 porquês	30
Figura 16 - Gráfico de evolução mensal.....	31
Figura 17 - Gráfico de refugo diário.....	32
Figura 18 - Visor do teste de estanqueidade.....	32
Figura 19 - Evolução Mensal em % de Refugo do Modelo da Peça 1	33
Figura 20 - 5 porquês do Modelo da Peça 1	34
Figura 21 - Evolução Mensal em % de refugo do Modelo da Peça 2.....	35
Figura 22 - 5 porquês do Modelo de Peça 2	35
Figura 23 - Antes e depois peça 2, cavidade 1	36
Figura 24 - Evolução Mensal em % do Modelo de Peça 3.....	36
Figura 25 - 5 porquês do Modelo de Peça 3	37
Figura 26 - Evolução Mensal em % do Modelo de Peça 4.....	37
Figura 27 - 5 porquês do Modelo de Peça 4	38
Figura 28 - Evolução Mensal em % do Modelo da Peça 5.....	39
Figura 29 - 5 porquês do Modelo de Peça 5	39
Figura 30 - Evolução Mensal em % do Modelo de Peça 6.....	40
Figura 31 - 5 porquês do Modelo de Peça 6	40
Figura 32 - Evolução Mensal em % do Modelo de Peça 7.....	41

Figura 33 - Foto térmica do Modelo de Peça 7	42
Figura 34 - 5 porquês do Modelo de Peça 7	42
Figura 35 - Evolução Mensal em % do Modelo de Peça 8	43
Figura 36 - 5 porquês do Modelo da Peça 8	44

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO:	9
1.1 OBJETIVO	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1 O PROCESSO DE INJEÇÃO SOB PRESSÃO.....	11
2.2 FLUXOGRAMA DO PROCESSO COMPLETO:	18
2.3 DEFEITOS DE INJEÇÃO:.....	19
2.3.1 Porosidade gasosa:	19
2.3.2 Junta fria:	20
2.3.3 Falha de preenchimento:	21
2.3.4 Rechupes:.....	22
2.3.5 Quebras:	22
2.4 OS 5 PORQUÊS:.....	23
2.5 DIAGRAMA DE PARETO:	23
3 METODOLOGIA:.....	25
4 RESULTADOS E DICUSSÃO:	31
4.1 RESULTADO GERAL:.....	31
4.2 MODELO DA PEÇA 1:.....	33
4.3 MODELO DA PEÇA 2:.....	34
4.4 MODELO DE PEÇA 3:.....	36
4.5 MODELO DE PEÇA 4:.....	37
4.6 MODELO DE PEÇA 5:.....	38
4.7 MODELO DE PEÇA 6:.....	39
4.8 MODELO DE PEÇA 7:.....	41
4.9 MODELO DE PEÇA 8:.....	43
5 CONCLUSÃO	45
6 REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO:

Esse trabalho aborda um projeto realizado em uma empresa, no interior do Paraná, de fundição de alumínio por injeção sob pressão. O trabalho foi realizado junto com o setor de processos de injeção sob pressão, que tem como responsabilidade garantir que as peças produzidas sigam as exigências de qualidade acordados com o cliente, com o objetivo de aumentar a produtividade, produção por tempo, e diminuir o seu custo.

O processo fundição sob pressão, FSP, é um processo de manufatura para produzir com precisão peças de metal com superfície dimensionada, nitidamente definida, lisa ou texturizada. É realizado pela injeção de alumínio fundido em alta velocidade e sob alta pressão em um molde de aço. Em comparação com outros processos de fundição, a FSP opera sobre condições de velocidade e pressão extrema. A alta velocidade se traduz em uma condição de fluxo muito turbulenta. O processo é frequentemente descrito como a menor distância entre a matéria-prima e o produto acabado (Andresen, 2007). Devido a condição de fluxo muito turbulento e outros fatores se a fundição não for bem monitorado o número de peças perdidas por defeitos mecânicos como porosidade, junta fria, falha de preenchimento, entre outros podem ser bem altos.

Produtividade é o fator crucial para verificar o desempenho produtivo de uma empresa. O aumento de produtividade é o desafio encontrado em qualquer fábrica (Sickles and Zelenyuk, 2019). Para aumentar a produtividade foi realizado um acompanhamento no processo de injeção e foi verificado uma perda de produção por peças refugadas por defeitos mecânicos pós usinagem, devido alguma falha no processo. Para descobrir a falha, foi realizado o acompanhamento diário de todas as peças refugadas pela equipe de qualidade por um período de 6 meses, catalogando os maiores defeitos e suas regiões. O motivo de verificar as peças pós usinagem, é que vários defeitos somente são visíveis após as peças terem sido usinadas, além do custo da peça ser muito maior após passar pelo centro de usinagem.

Com os dados obtidos nesse acompanhamento, foram gerados relatórios diários sobre os defeitos ocasionados no processo de fundição, e semanalmente foi utilizado ferramentas da qualidade como o 5 porquês para identificar as possíveis

falhas no processo produção e assim poder atuar para corrigir e evitar maiores perdas de produção.

1.1 OBJETIVO:

Diminuir o número de peças refugadas por defeitos mecânicos pós usinagem no processo de injeção sob pressão, utilizando ferramentas da qualidade.

Objetivo específico:

- Identificar as peças com maior número de refugo.
- Identificar os defeitos do processo de injeção pós usinagem que as levaram serem descartadas.
- Mapear o local dos defeitos
- Encontrar a solução e corrigir o processo para evitar a perda continua.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nessa seção será apresentadas informações e conceitos, com o objetivo de facilitar o entendimento do trabalho. Destacando-se, processo de fundição sob pressão (FSP), defeitos mecânicos e os 5 Porquês.

2.1 O PROCESSO DE INJEÇÃO SOB PRESSÃO

As máquinas de fundição sob pressão, FSP, têm início em 1849, quando Sturges criou e patenteou a primeira máquina, criada para moldar tipos móveis de chumbo para impressoras. Essa máquina seguia a mesma funcionabilidade de uma máquina de FSP dos dias de hoje. Em 1904 a indústria de impressão foi substituída pela indústria automobilística como a principal usuária do processo de fundição, posição ocupada até os dias de hoje. (Andresen 2007)

O desenvolvimento das máquinas de FSP esteve em paralelo com o consumo de peças, evoluindo de máquinas manuais para altamente sofisticadas. A mudança de design da máquina foi devido ao uso de ligas de alumínio, que possui temperatura de fusão alta comparada com as outras ligas usadas, e que acabavam corroendo o metal e o aço das máquinas, que além de estragarem as máquinas, ocasionaram várias mortes (Andresen 2007).

O processo de fundição sob pressão consiste em injetar um metal líquido (liga de alumínio, zinco ou magnésio) contido em um recipiente para o interior da cavidade de um molde, submetendo o metal a altas pressões. O processo é dividido em dois tipos de acordo com o sistema de injeção utilizado: câmara quente ou fria (MALVAZI, 2005).

O processo de câmara fria, conforme as Figuras 1 e 2, consiste em uma concha retirar o metal fundido (alumínio, latão, magnésio) de um forno de espera ao lado da injetora e levar até a câmara fria, em seguida o pistão empurra o metal para dentro do molde fechado, preenchendo todas as cavidades do molde. O movimento feito pelo pistão é dividido em duas etapas, a lenta e a rápida. Na lenta o pistão leva o metal em baixa velocidade para dentro do molde, logo em seguida o pistão acelera e comprime o metal, aumentando a pressão dentro do molde abaixando conseqüentemente a temperatura e solidificando a liga. As pressões usadas nesse processo variam geralmente de 10MPa até 150MPa.

Legenda para figura 1, 2, 3, 4.

Clamping Unit: Unidade de Fixação

Tie Bar: Barra Fixa

Moveable Platen: Plataforma Móvel

Casting: Peça Fundida

Ejector Die: Parte Móvel do Molde

Cover Die: Parte fixa do Molde

Ladle: Concha

Molten Metal: Metal Fundido

Pouring Hole: Buraco de enchimento, bucha de injeção

Hydraulic Cylinder: Cilindro Hidráulico

Rear Platen: Placa traseira

Clamping Bar: Barra de Fixação

Ejection System: Sistema de Ejeção

Sprue: Jito

Injection Sleeve: Canal de Injeção

Stationary Platen: Plataforma Fixa

Shot Chamber: Câmara de Tiro

Plunger: Pistão

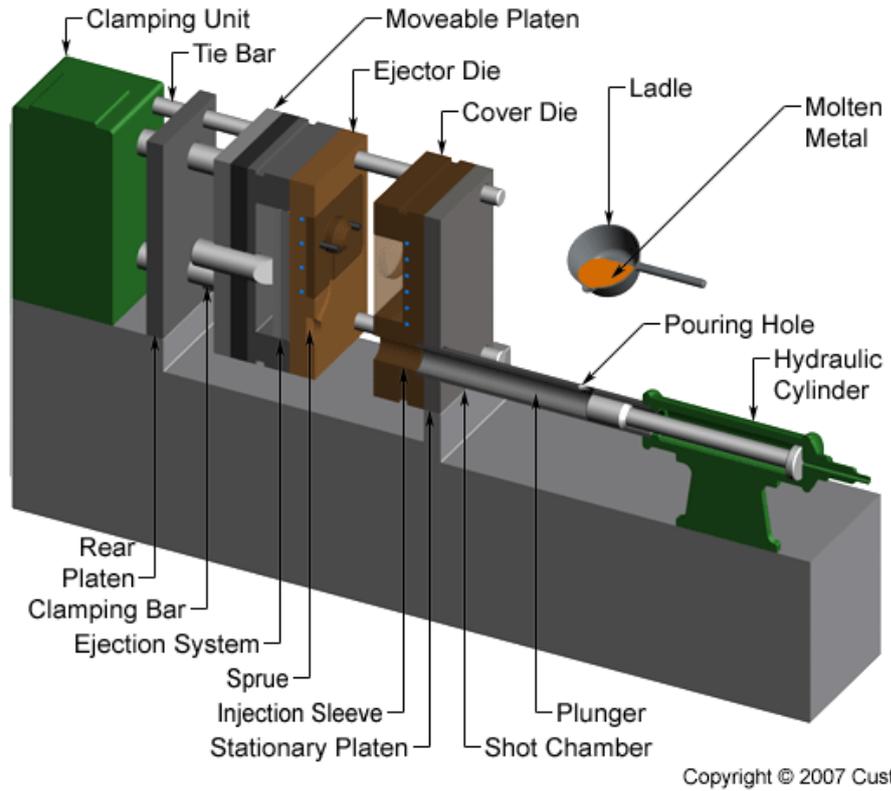
Gooseneck: Pescoço de Ganso

Holding Pot: Câmara de Contenção

Furnace: Forno

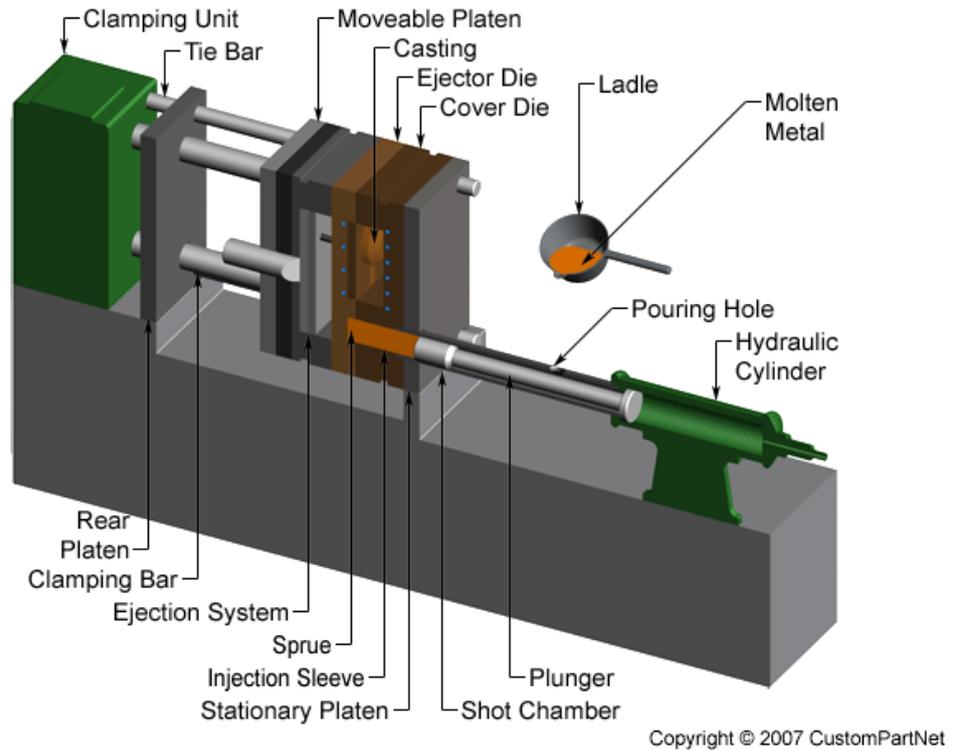
Inlet: Admissão

Figura 1 - FSP - Câmara fria, molde aberto



Fonte: CustomPartNet (2007)

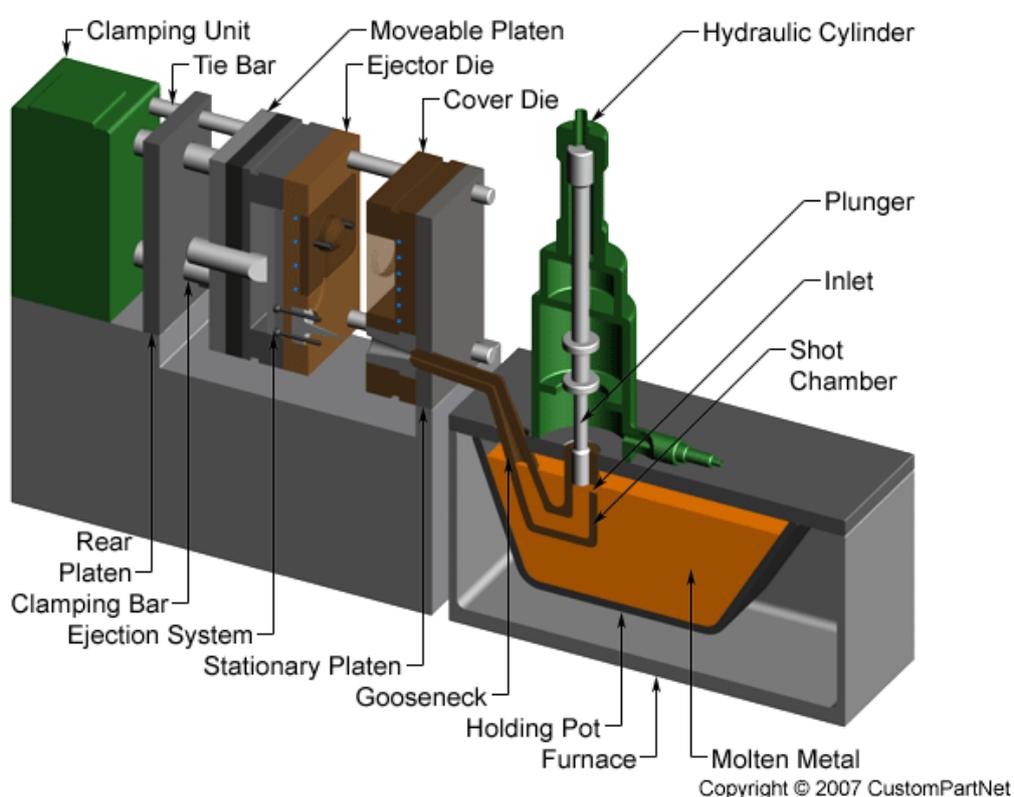
Figura 2 - FSP - Câmara fria, molde fechado



Fonte: CustomPartNet (2007)

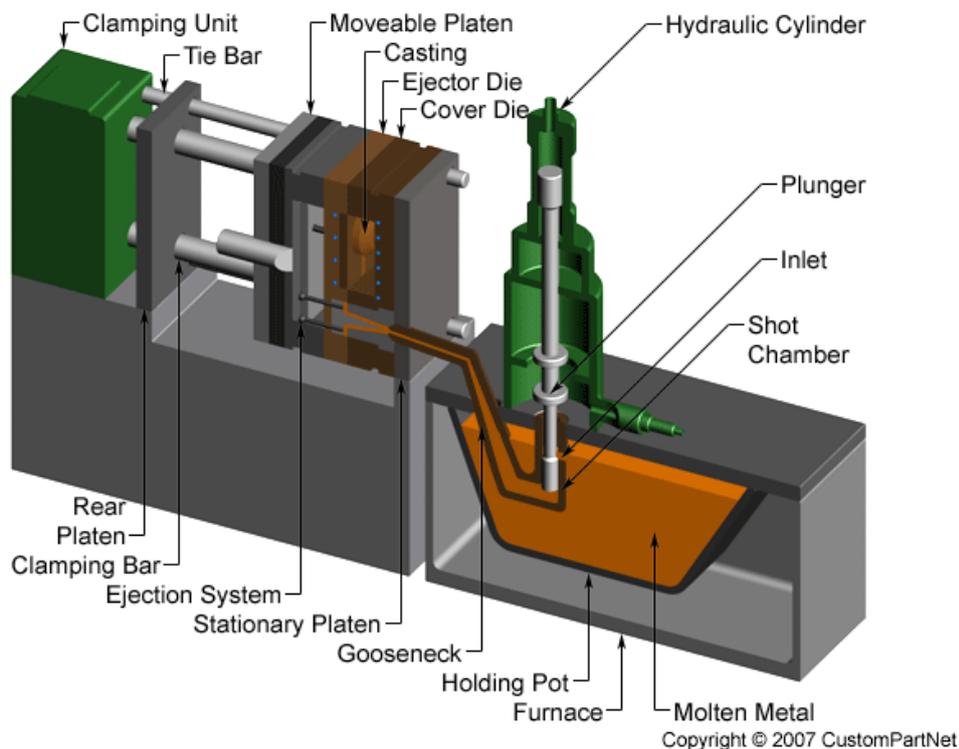
No processo de câmara quente, conforme as figuras 3 e 4, ao contrário da câmara fria, não existe uma concha pra levar o metal fundido para ser injetado. O forno de espera tem uma “câmara de tiro” onde o pistão empurra o material a ser fundido, que passa por um canal com o formato de pescoço de ganso até a matriz, seguindo o mesmo movimento que na câmara fria. A diferença é que as ligas usadas não podem ter um ponto de fusão muito alto, para não danificar a bomba que está em contato direto com o metal fundido. As ligas mais usadas são zinco, estanho e chumbo. As pressões usadas nesse processo variam normalmente de 7MPa até 35MPa.

Figura 3 - FSP - Câmara quente, molde aberto



Fonte: CustomPartNet (2007)

Figura 4 - Câmara quente, molde fechado



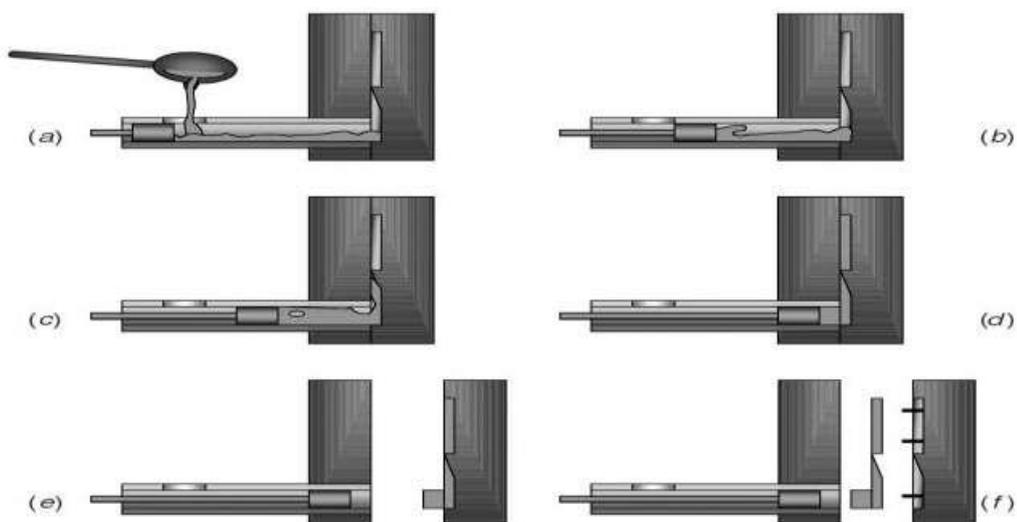
Fonte: CustomPartNet (2007)

Podemos verificar que o funcionamento das máquinas de câmara fria e quente são praticamente idênticas no seu funcionamento, exceto pela forma de alimentação. Como esse trabalho é sobre defeitos mecânicos em peças de alumínio, se restringirá ao processo de câmara fria.

As etapas do processo de FSP, tanto para câmara fria e câmara quente, seguem a sequência:

- Fechamento do molde
- Travamento do molde
- Dosagem do metal líquido na bucha de injeção, Figura 5 a
- Injeção do metal líquido da bucha no molde, Figura 5 b, c
- Solidificação da peça, Figura 5 d
- Abertura do molde, Figura 5 e
- Extração da peça, Figura 5 f
- Aplicação de desmoldante e sua secagem
- Retrocesso do pistão de Injeção

Figura 5 - Etapas do processo de FSP



Fonte: Vinarcik (2003)

O molde é dividido em duas partes, uma móvel e outra fixa. A móvel é onde se encontram as cavidades, os radiais e é o local a ser preenchida pelo metal. Já a parte fixa do molde tem a passagem do alumínio, a bucha de injeção e a sua superfície contém alguns detalhes, como datador e logo do cliente. O molde é feito de ligas ferrosas e sua vida útil é definida pelo fabricante, mas normalmente chegam a 200.000 tiros. Algumas falhas, no entanto, podem levar ao desgaste, sendo as principais causa o agarramento da liga fundida, corrosão, erosão e fadiga térmica, além de outras relacionadas a falhas de projeto, máquina de injeção mal dimensionada, a má utilização e a falta de manutenção (Vendramim, 2020).

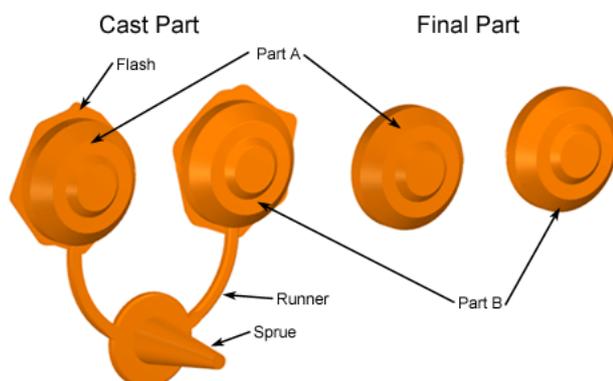
Com o molde fechado o travamento é feito, o que garante que o molde não vai abrir com o aumento da pressão. O travamento do molde é ajustado manualmente quando ele é colocado na máquina, e precisa ser verificado constantemente porque podem surgir folgas após vários ciclos. Essas folgas permitem que o alumínio escape das cavidades do molde, formando rebarbas ou até espirrando ao redor. (Andresen 2007)

O pistão é o responsável de levar o alumínio fundido de dentro da câmara fria para dentro do molde. Essa etapa é dividida em três fases, a primeira que é a lenta (Figura 5 b), a segunda que é a rápida (Figura 5 c) e a terceira que é de compactação. A primeira fase serve para permitir a saída do ar de dentro do canal e evitar o enchimento prematuro do molde. Nesse momento o escoamento é laminar. A segunda

fase começa quando a bucha de injeção está cheia de metal, sem ar, e nesse momento o pistão acelera e empurra o metal de uma só vez para dentro da cavidade do molde, aumentando a pressão e o escoamento do alumínio torna-se turbulento. Após o pistão chegar no final do seu curso a sua velocidade vai para 0 e então começa a 3ª fase, quando o acumulador hidráulico começa a funcionar aumentando a pressão exercida pelo pistão no metal.

A peça pode ser extraída manualmente, por um operador, ou de forma automática, por um robô. O uso de robôs hoje em dia está sendo um diferencial para manter o ritmo de produção e constância nas peças, porque além da extração das peças o robô faz a aplicação do desmoldante e secagem do mesmo. A peça extraída sai conforme a Figura 6, com o canal de ataque, bolsas de ar, e o canal de alimentação. Em seguida a peça é colocada em uma prensa hidráulica onde ela é estampada e eliminando o canal e as bolsas de ar e algumas rebarbas.

Figura 6 - Peça ao sair da injeção e peça pós estampagem



Copyright © 2007 CustomPartNet

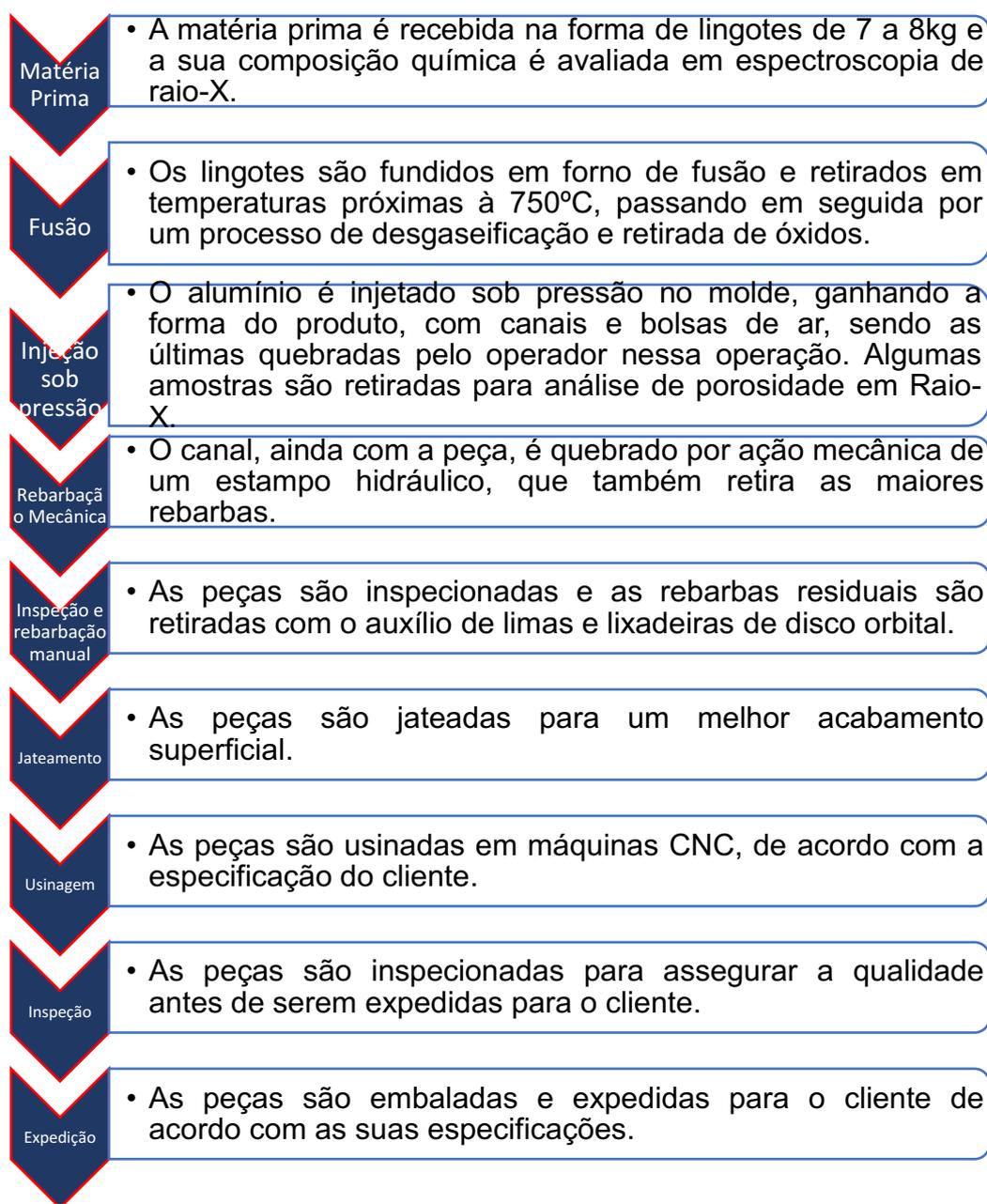
Fonte: CustomPartNet (2007)

Para fazer a extração da peça do molde existem as barras extratoras que estão presentes na parte móvel do molde, que ao serem acionadas empurram a peça para fora do molde. Para auxiliar na extração é utilizado desmoldante a base de água no molde. O desmoldante tem uma função muito importante, facilitando a extração da peça, protegendo o molde do ataque do metal e para controle de temperatura do molde. A aplicação do desmoldante como já explicado anteriormente pode ser de forma manual ou automática.

2.2 FLUXOGRAMA DO PROCESSO COMPLETO:

O processo completo, da maioria das peças produzidas na fábrica, segue o fluxograma apresentado na figura 7. As não conformidades respondidas pelo setor de processo de injeção se encontram nos processos de fusão da matéria prima, injeção sob pressão, rebarbação mecânica, rebarbação manual e jateamento. Mas muitos defeitos só são encontrados após a usinagem.

Figura 7 - Fluxograma do processo



2.3 DEFEITOS DE INJEÇÃO:

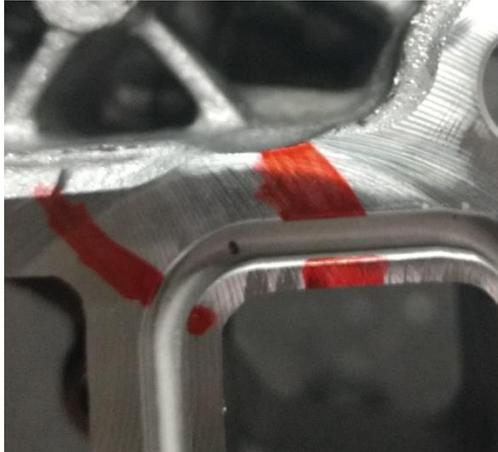
Um defeito de fundição é uma irregularidade indesejada em um processo de fundição de metal. Alguns defeitos podem ser tolerados enquanto outros podem ser reparados, caso contrário, eles devem ser eliminados (Rao,1999). Na fundição sob pressão, os defeitos mais comuns são erros de execução e juntas frias. Esses defeitos podem ser causados por matrizes frias, baixa temperatura do metal, metal sujo, falta de ventilação ou excesso de lubrificante. Outros possíveis defeitos são porosidade de gás, porosidade de contração, rasgos quentes e marcas de fluxo. As marcas de fluxo são marcas deixadas na superfície da peça fundida devido a portas deficientes, cantos agudos ou excesso de lubrificante (Avedesian,1999).

2.3.1 Porosidade gasosa:

A porosidade gasosa é um dos principais problemas que podem ocorrer, e está relacionado com as altas velocidades de injeção. Quando o alumínio é injetado em alta velocidade, é criado um fluxo turbulento, o alumínio acaba aprisionando gases, criando um espaço vazio dentro da peça (Malavazi, 2010). Esses vazios assemelhando-se a uma bolha, ou em alguns casos vários pequenos buracos conhecidos como nuvem de poros.

O defeito de poros acaba se tornando mais visível quando a peça é usinada conforme a figura 8, e muitas vezes acaba se tornando um defeito recorrente que o operador não consegue descobrir de imediato. A melhor forma de reduzir a quantidade de ar aprisionado é garantir que as bolsas de ar projetadas no desenvolvimento do molde estejam adequadas, para que os gases se desloquem para essa região e não afetem a peça.

Figura 8 - Porosidade



Fonte: Acervo Pessoal, 2019

Outro motivo da existência de poros é a presença de água no molde. Essa água pode vir de diversos lugares, como um vazamento do sistema de refrigeração do molde, que é feito a água, ou o mais comum é a presença de desmoldante, que é 98% água, dentro do molde. Isso pode ocorrer se a secagem do desmoldante não ter sido feita corretamente, ou por excesso em sua aplicação (Walkington,1997).

Existem também microporos, geralmente não podem ser vistos a olho nú. Eles são um problema em peças que passam por controle de estanqueidade como tampa de motores e cárter. Esse tipo de poro é um dos maiores problemas de uma linha de produção, por serem difíceis de serem localizados.

2.3.2 Junta fria:

Segundo Malavazi (2010), as juntas frias, figura 9, são defeitos superficiais nos quais a peça fica com uma aparência desuniforme. O defeito é menos perceptível se a peça receber acabamento como jateamento com granalha ou vibratório, pois a ação mecânica sofrida pela peça irá remover a camada superficial

Figura 9 - Junta Fria



Fonte: Acervo Pessoal

Esse defeito ocorre quando alguma parte da peça acaba solidificando antes do esperado. Isso pode ocorrer se entrar metal dentro da matriz antes da fase de velocidade do pistão; se alguma parte do molde estiver mais fria que o normal, podendo ser ocasionado devido ao excesso de desmoldante; molde em início de operação; ou quando o molde fica aberto mais tempo que o esperado, a temperatura do alumínio fundido não tem influência.

2.3.3 Falha de preenchimento:

Geralmente, o problema de preenchimento incompleto está relacionado ao aquecimento inadequado, tanto do molde quanto do metal, ou à velocidade de preenchimento do molde, fazendo com que o metal se solidifique prematuramente, não completando o preenchimento das cavidades. De forma semelhante, se a fluidez do metal for reduzida devido à contaminação por ferro ou borras, o preenchimento será prejudicado (Walkington, 1997).

As falhas de preenchimento também podem ocorrer quando algo está ocupando alguma parte da cavidade impedindo que o metal ocupe todo o espaço previsto, isso ocorre por exemplo quando um pino extrator está avançado ou alguma sujeira ou resto de metal ficam preso dentro do molde. Outro motivo que leva a falha de preenchimento é o não travamento corretamente do molde, resultando em sobra de espaço entre a parte fixa e a móvel. Quando isso ocorre o alumínio acaba saindo pelo espaço entre as matrizes.

2.3.4 Rechupes:

Os rechupes são depressões na superfície da peça resultantes de uma contração nos pontos quentes da superfície do molde. Os prováveis pontos quentes podem ser previamente identificados quando a superfície da peça injetada começa a ficar com aparência áspera. Essa aparência áspera indica que o último ponto a se solidificar está na superfície da peça (Walkington, 1997).

Existem algumas formas de controlar esse problema, a mais utilizada é garantindo a refrigeração das partes quentes do molde, isso pode ser pelo sistema de refrigeração da matriz, ou aumentando a desmoldagem nesses locais, porém ao fazer isso deve-se atentar à secagem do molde para não acabar deixando resquícios de água dentro do molde.

2.3.5 Quebras:

As quebras na injeção sob pressão ocorrem após a solidificação da peça. Como esse trabalho tem o objetivo de diminuir o número de peças perdidas por defeitos, todos os defeitos até a usinagem serão avaliados. As quebras normalmente ocorrem na estampagem, devido a canais de ataque ou rebarbas com espessura maior que o normal. Quando isso ocorre a peça acaba quebrando quando vai se separar do restante do galho, como mostrado na figura 10.

Figura 10 - Quebra



Fonte: Acervo Pessoal

2.4 OS 5 PORQUÊS:

A técnica dos cinco porquês é uma ferramenta utilizada no sistema Toyota de Produção, que tem por objetivo descobrir a causa real do problema, que as vezes acaba escondida por alguma situação óbvia (Ohno, 1997). O número de porquês não necessita obrigatoriamente ser 5, em alguns casos podem ser menos ou mais, isso depende da complexidade do problema.

Weiss (2011) descreve de forma simplificada os 5 passos que devem ser dados para aplicar o método:

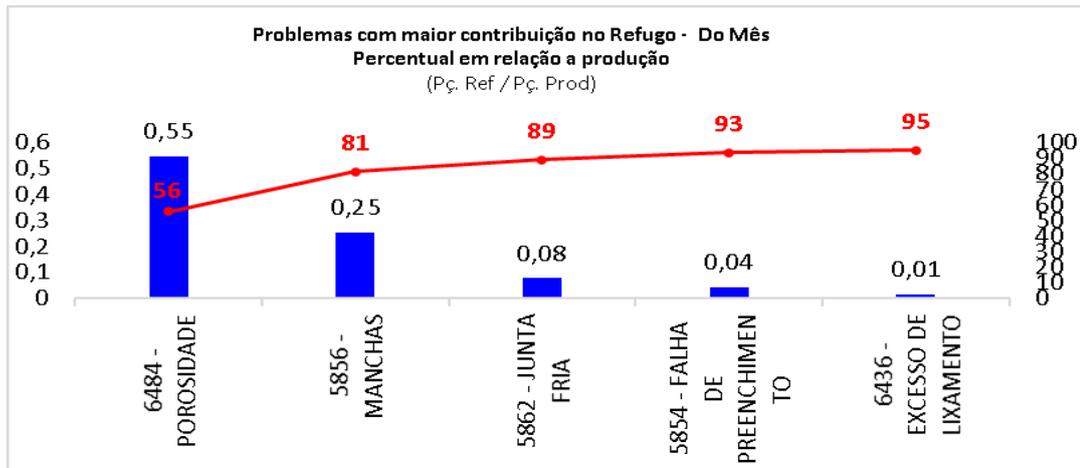
1. Inicie a análise com a afirmação da situação que se deseja entender – ou seja, deve-se iniciar com o problema;
2. Pergunte por que a afirmação anterior é verdadeira.
3. Para a razão descrita que explica porque a afirmação anterior é verdadeira, pergunte por que novamente;
4. Continue perguntando por que até que não haja mais porquês a perguntar;
5. Ao cessarem as respostas dos porquês significa que a causa raiz foi identificada

2.5 DIAGRAMA DE PARETO:

O diagrama de Pareto baseia-se no Princípio de Pareto, ou regra do (80/20). Esse princípio foi descrito com base em um estudo de Pareto, o qual dizia que 80% da riqueza do mundo pertenciam a apenas 20% da população. “Esta distribuição inadequada foi expressa em um gráfico, que leva o seu nome, e que, mais tarde, viria a se transformar em uma das mais conhecidas ferramentas da qualidade” (CARVALHO e PALADINI, 2012).

A ideia é utilizar o gráfico de barras para descobrir onde se encontram as principais causas do problema, conseguindo assim encontrar o motivo de maior incidência como exemplificado na figura 11.

Figura 11 - Gráfico de Pareto



Fonte: Acervo Pessoal

3 METODOLOGIA:

O presente trabalho classifica-se como estudo de caso, pois é baseado na resolução de um problema real vivenciado na indústria, com coleta e análise dos dados lá obtidos. Yin (2001) define o estudo de caso como uma investigação empírica de um fenômeno. Porém um estudo de caso consome muito tempo, e é necessário muito cuidado na generalização das conclusões a partir de um limitado conjunto de casos (Voss, Tsiriktsis e Frohlich, 2002).

Segundo Yin (1993) existem três tipos de estudo de caso, dependendo dos objetivos para o qual ele é usado: exploratório, explanatório e descritivo. Esse trabalho se enquadra no caso exploratório, já que ele testa as hipóteses levantadas e os procedimentos aplicados no processo de injeção sob pressão.

O primeiro passo para iniciar esse trabalho foi realizar uma reunião com a equipe de processos de injeção, e apresentar o projeto e os seus objetivos e motivos para realizá-lo. No mês de fevereiro de 2019 foi efetuado o planejamento, nesse mês o índice de refugo estava em 3,52% o que gerou um custo de refugo de aproximadamente R\$ 350.000,00. O objetivo traçado pela equipe era de reduzir o refugo para de 2% no período de 7 meses.

Para realizar esse projeto foi preciso envolver outros setores da empresa para conseguir iniciá-lo. O setor de logística e layout da empresa foi encarregado de disponibilizar um espaço para poder realizar a análise das peças refugadas. Houveram algumas exigências básicas para o espaço de análise, como ser um local amplo, com boa iluminação e próximo as máquinas de usinagem.

Após conseguir o local para análise do refugo, o setor de produção da usinagem foi instruído a levar as peças refugadas para o local determinado pela logística no final de cada turno. E por fim os setores da qualidade e o do processo de injeção foram responsáveis pelo treinamento dos inspetores das peças e dos operadores dos centros de usinagem para a inspeção de não conformidades e preenchimento das fichas de registro de não conformidade (RNC), figura 12.

Figura 12 - RNC

Logo da Empresa	N° RNC:
Nome da Peça:	
Cliente:	Data:
Cod. Peça:	Turno:
Cod. Defeito:	Quantidade:
Descrição da não conformidade:	
Operador:	Assinatura:

Fonte: Acervo Pessoal

As fichas de registro de não conformidade (RNC) já existiam e eram preenchidas pelo supervisor da usinagem, com os dados anotados pelos inspetores da qualidade, e entregue para a equipe da qualidade fazer o lançamento no sistema. Porém esse lançamento no sistema por parte setor da qualidade ocorria normalmente dias após a queima do refugo. Como passou existir uma necessidade de se obter esses dados mais rápidos, foi criado um relatório diário de refugo causados por defeitos de injeção, figura 13.

Na fábrica são produzidos mensalmente em torno de 50 peças diferentes. No planejamento inicial foi determinado que seriam analisadas e investigado as possíveis soluções para diminuir o refugo dos 8 modelos de peças com maior índice de refugo. Foi estipulado que a análise das peças refugadas aconteceria diariamente no início do primeiro turno. A análise das peças consiste em identificar a não conformidade, o local do defeito, a data e o turno em que a peça foi injetada, e a quantidade de peças com esse problema, obter evidências do defeito como foto ou guardando uma peça com o defeito. Após a análise das peças é verificado se o preenchimento dos RNC foi feito corretamente e as peças são descartadas em uma caixa para serem levadas ao forno, figura 14.

Figura 14 - Peças refugadas



Fonte: Acervo Pessoal

Após a análise das peças refugadas o relatório diário é preenchido e as possíveis soluções para os defeitos começam a ser estudadas, dando prioridade para as peças com maior contribuição no percentual total de refugo. Para encontrar a

solução é necessário fazer uma investigação total no processo, levantando hipóteses e testando cada uma até encontrar a melhor saída.

Para encontrar a resolução do defeito, primeiro é preciso verificar em qual parte da peça ocorre o defeito, entre os defeitos o de vazamento por não ser possível de ver a olho nu, por ocorrer devido microporos ou poros internos interligados é o mais complicado de determinar o local. Para encontrar o local do vazamento é utilizado três métodos, o mais simples constitui em passar espuma de sabão na parte externa da peça e em seguida passa ar comprimido na parte interna, o local em gerar bolhas é o local do vazamento. O segundo em procurar por regiões comprometidas através de uma máquina de raio-x. E o terceiro método é de passar líquido penetrante na parte externa da peça, e ver na parte interna da peça onde o líquido conseguiu passar.

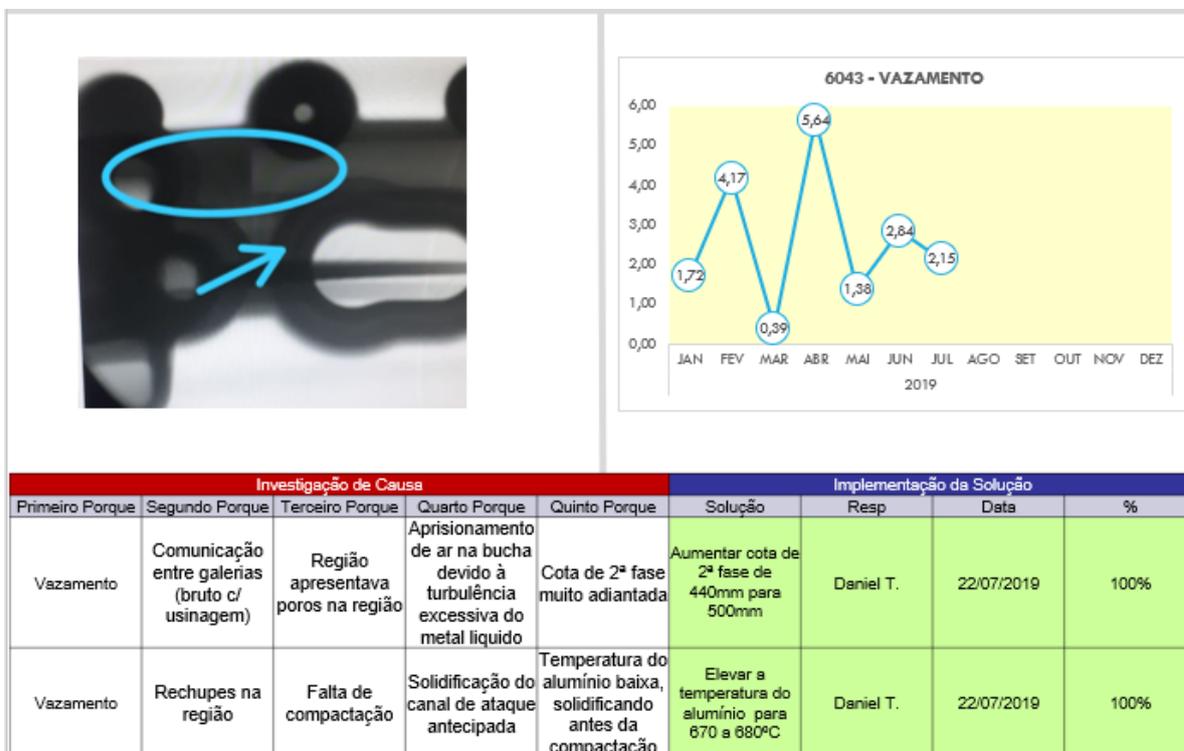
O segundo passo é determinar em qual parte do processo o defeito aparece, podendo ser na fusão da liga, na injeção, na estampagem, rebarbação, jateamento ou até no armazenamento das peças pré-usinagem. Com o conhecimento sobre o processo completo e sobre os defeitos a determinação do local geralmente é feito de imediato, mas em alguns casos como pequenas quebras na peça é necessário realizar um acompanhamento constante para encontrar em qual setor ocorre o problema.

Depois de determinar o local em que o defeito ocorre, verifica-se o processo segue de acordo com o padrão. Caso algo esteja fora do padrão faz as correções necessárias e passado treinamento para os funcionários. Mas caso o processo esteja seguindo de acordo com o padrão, é realizado uma investigação para determinar qual variável precisa ser alterada, algumas vezes podem ser mais de uma. Então cria-se uma guia de regulagem de processo provisório e realizados testes para com alterações no processo padrão. Caso durante os testes o percentual de peças refugadas seja menor que o do processo padrão, é feito a substituição do processo padrão. Caso as alterações iniciais não resultem positivamente, o processo não é alterado, mas as investigações e testes continuam até encontrar um novo processo mais estável que o atual.

No planejamento inicial foi decidido que semanalmente seriam efetuadas reuniões sobre o refugo. Nessas reuniões foram apresentados os gráficos semanais de refugo. Para os 3 modelos de peças com maior contribuição no percentual total de refugo, e os 3 modelos de peças com maior contribuição ao custo total são

apresentados os 5 porquês dos maiores defeitos, e verificadas ações tomadas e seus respectivos prazos. A figura 15, está exemplificando de como era feito as apresentações.

Figura 15 - Apresentação dos 5 porquês



Fonte: Autor, 2019

4 RESULTADOS E DICUSSÃO:

Nesta seção será apresentado o desenvolvimento de cada peça que foi acompanhada no período, seus principais problemas e o resultado do trabalho realizado.

4.1 RESULTADO GERAL:

O objetivo proposto de diminuir o percentual de refugo para menos de 2% foi alcançado após 7 meses do início do projeto. Observando o gráfico na figura 16 percebe-se que o impacto do acompanhamento foi sentido logo nos primeiros meses. Todos os gráficos de evolução têm no eixo Y o valor em porcentagem de peças refugadas (número de peças refugadas vezes 100 dividido pela produção total) e no eixo X os meses.

Figura 16 - Gráfico de evolução mensal

GRÁFICO DE EVOLUÇÃO MENSAL DE REFUGO FUNDIDO NA USINAGEM

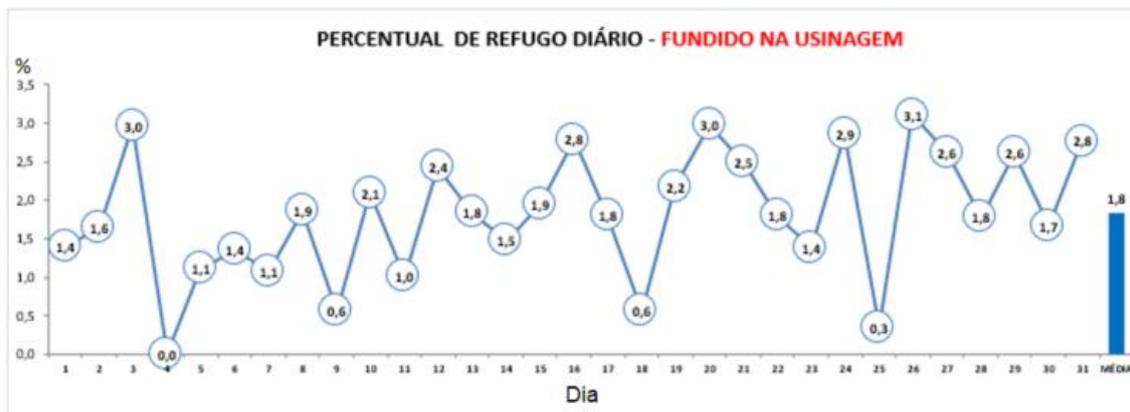


FONTE: Autor, 2019

Com o passar dos meses foi observado um padrão em relação aos dias da semana que mais se gerava refugo, sendo o início da semana os dias mais críticos, conforme observado na figura 17. O principal motivo é o funcionamento da fábrica nos finais de semana com menos pessoas supervisionando a produção. O controle mais rigoroso em cima dos operadores e verificação constante dos parâmetros de injeção

por parte dos supervisores e monitores foram cruciais para a diminuição das peças refugadas.

Figura 17 - Gráfico de refugo diário



FONTE: Autor, 2019

Das 8 peças que foram acompanhadas diariamente as peças que mostram mais desafio para encontrar a solução do problema foram as peças que passavam por teste de estanqueidade. Esse teste consiste em colocar a peça em uma máquina que fara a vedação das partes abertas e adicionar pressão dentro da peça. Caso exista um vazamento a pressão interna irá diminuir e o manômetro da máquina irá informar a alteração sofrida, conforme a figura 18 que mostra o painel da máquina indicando os valores de pressão e de fuga. As peças que passavam por teste de estanqueidade eram as peças 6, 7 e 8.

Figura 18 - Visor do teste de estanqueidade

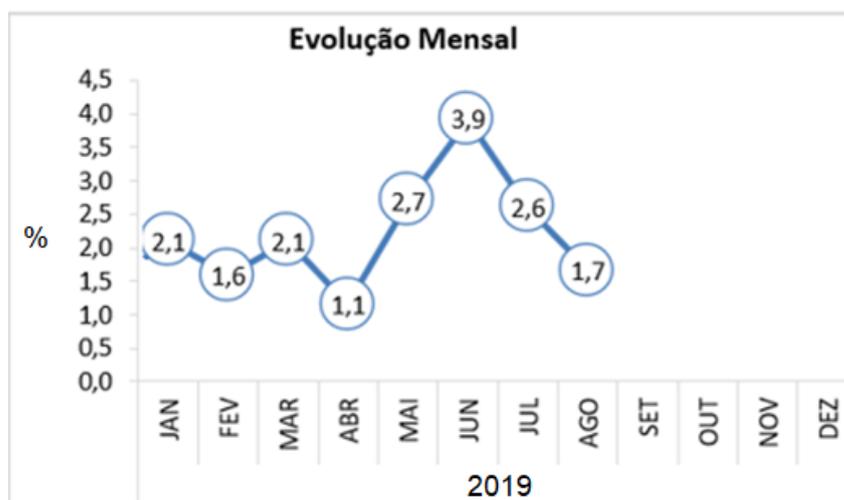


Fonte: Acervo Pessoal

4.2 MODELO DA PEÇA 1:

A peça 1 teve dois principais defeitos durante esse período, quebra e porosidade. O problema de porosidade ocorreu principalmente no mês de junho e julho, e as quebras foram um problema constante durante esse período. A figura 19 mostra a evolução durante os meses.

Figura 19 - Evolução Mensal em % de Refugo do Modelo da Peça 1



FONTE: Autor, 2019

Para os dois defeitos foi utilizado os 5 porquês, figura 20, para identificar a causa real do problema e assim que as soluções foram colocadas em prática vê uma queda no número de peças refugadas.

Figura 20 - 5 porquês do Modelo da Peça 1

Investigação de Causa					Implementação da Solução			
Primeiro Porque	Segundo Porque	Terceiro Porque	Quarto Porque	Quinto Porque	Solução	Resp	Data	%
Porosidade	Falta de compactação	Molde espirrando durante a compactação	Molde amassado / Fechamento com as gavetas deficiente	Molde com vida útil em 200%	Iniciar molde novo	Leticia/ Felipe/ Jodas	18/07/2019	100%
Quebra	Batida para colocar e retirar peças do jato rotativo	Há dificuldade em colocar e retirar as peças do jato rotativo	Há uma esteira automática na frente do jato rotativo, dificultando o acesso do operador		Reposicionar a esteira, para facilitar o carregamento com cuidado, e criar uma rampa para suavizar a retirada das peças	Emanuelle	31/08/2019	25%
					Criar Plano de Inspeção visual pós jato para retirar peças de linha antes da usinagem	Guilherme Fortes	26/07/2019	100%

FONTE: Autor, 2019

4.3 MODELO DA PEÇA 2:

A peça 2 teve como principal problema a porosidade no mês de abril como pode-se ver na figura 21. O que chamou a atenção foi o fato da porosidade acontecer sempre na mesma região e na cavidade 1, essa peça possui duas cavidades. Para determinar o motivo deste defeito foram testadas várias possíveis soluções padrões, como alteração na pressão do multiplicador, tempo de compactação e alteração no plano de desmoldagem, porém nenhuma mostrou-se eficaz.

Figura 21 - Evolução Mensal em % de refugo do Modelo da Peça 2



FONTE: Autor, 2019

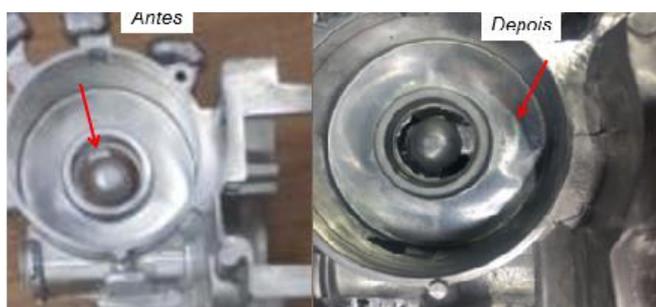
Utilizando dos 5 porquês e analisando a diferença entre as cavidades, foi verificado que na cavidade 1 o alumínio percorria um caminho maior para chegar na bolsa de ar que na cavidade 2, isso porque ambas as cavidades são opostas uma da outra. Com o desgaste natural do molde o alumínio não chegava com velocidade suficiente para direcionar o ar para a bolsa de ar. Na figura 22 estão os 5 porquês e na figura 23 o antes e depois da mudança no posicionamento da bolsa.

Figura 22 - 5 porquês do Modelo de Peça 2

Investigação de Causa					Implementação da Solução			
Primeiro Porque	Segundo Porque	Terceiro Porque	Quarto Porque	Quinto Porque	Solução	Resp	Data	%
1. Porosidade (Localizado Diâmetro do rolamento - Cav 1)	Aprisionamento de ar durante enchimento	Região não havia escape de ar	Bolsa de ar com ataque em região oposta		Alterar localização do canal de ataque	Jodas / Guilherme	24/04/2019	100%
					Padronizar alteração para o próximo molde	Jodas	Próximo molde	25%
Quebra (Cavidade 2)	Quebra do perfil durante a quebra da rebarba	Esforço excessivo no perfil durante quebra da rebarba	Rebarba muito grossa	Molde com fechamento ruim entre a gaveta e cavidade, gerando rebarba grossa / molde com mais de 100% de vida útil	Melhorar fechamento da gaveta com a cavidade do molde, na cavidade 2	Edison	31/08/2019	25%
					Acelerar o processo de pedido de compra do novo molde	Letícia	Em andamento	50%

FONTE: Autor, 2019

Figura 23 - Antes e depois peça 2, cavidade 1



FONTE: Autor, 2019

4.4 MODELO DE PEÇA 3:

A peça 3 apresentou nesse período diversos defeitos diferentes, como junta fria, porosidade e falha de preenchimento. O principal motivo para os defeitos é por ser um molde que funcionava em uma injetora com regulagem manual, sem computador, e sem o auxílio de robô para realizar a aplicação do desmoldante e remoção da peça. Como a peça 3 apresenta 4 cavidades e ciclo de produção em baixo tempo, essa peça foi uma das fundamentais para a diminuição do refugo geral da fábrica. A figura 24 apresenta a evolução mensal de peças refugadas, e a figura 25 os 5 porquês feitos para a peça 3.

Figura 24 - Evolução Mensal em % do Modelo de Peça 3



FONTE: Autor, 2019

Figura 25 - 5 porquês do Modelo de Peça 3

Investigação de Causa					Implementação da Solução			
Primeiro Porque	Segundo Porque	Terceiro Porque	Quarto Porque	Quinto Porque	Solução	Resp	Data	%
Porosidade Ø16mm	Falta de compactação	Falta de pressão multiplicada	Acumuladores não carregando o necessário	Bomba hidráulica da máquina comprometida	Trocar bomba hidráulica da máquina 717	Jonatha / Evandro	08/06/2019	100%
Porosidade Ø16mm	Turbulência do metal na injeção	Velocidade de 2ª fase sendo disparada antecipado da cota de 2ª fase definida no desenvolvimento	Injetora 717 fazendo a leitura do avanço da injeção errado	Régua da injeção descalibrada	Corrigir a calibração da régua da injeção da máquina 717	André Alves / Evandro	02/07/2019	100%
					Colocar na GRM a calibração da régua	André Alves / Daniel T.	02/07/2019	100%
Falha de preenchimento	Presença de bruto no diâmetro de 16mm após usinagem	Falta de material na região	Pino da cavidade 3 amassado	Molde com vida útil vencida	Iniciar novo molde	Leticia / Jodas / Felipe	03/05/2019	100%
Junta Fria	Excesso de extração de calor da peça antes do preenchimento	Preenchimento lento	Velocidade de 2ª fase baixa	Abaixado velocidade de segunda fase para compensar fechamento do molde ruim	Refazer fechamento do molde	Edison	02/05/2019	100%

FONTE: Autor, 2019

4.5 MODELO DE PEÇA 4:

Observando a figura 26 conclui-se que a peça 4 foi uma peça que não apresentou muitos defeitos durante o período de acompanhamento, com uma pequena exceção no mês de julho. Por meio dos 5 porquês, figura 27, foi encontrado o motivo do aumento de porosidade na peça devidos há defeitos na injetora e no forno de espera.

Figura 26 - Evolução Mensal em % do Modelo de Peça 4



FONTE: Autor, 2019

Figura 27 - 5 porquês do Modelo de Peça 4

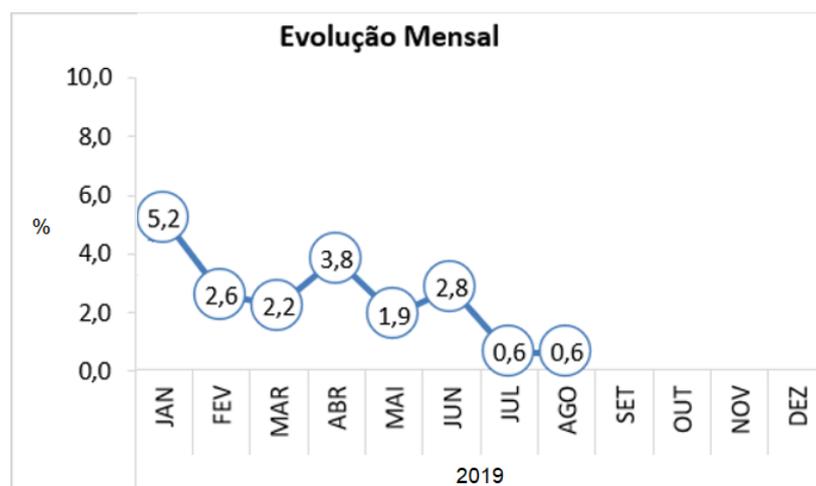
Investigação de Causa					Implementação da Solução			
Primeiro Porque	Segundo Porque	Terceiro Porque	Quarto Porque	Quinto Porque	Solução	Resp	Data	%
Porosidade (rosca)	Falta de compactação	Multiplicador não atuando	Queimada placa de controle da válvula proporcional do contraste da máquina 808		Trocar placa de controle da válvula proporcional do contraste da 808	Gian / Motta / Evandro	25/06/2019	100%
					Colocar manômetro no multiplicador	Evandro	25/06/2019	100%
					Reciclar preparadores quanto à verificação da GRM de forma crítica, cobrar manutenção quanto à falta de meios de controle críticos do processo e caso não tiver sucesso avisar processo / supervisão	Ederson / Anselmo	30/06/2019	100%
Porosidade	Falta de compactação	Canal solidificando antes da hora	Temperatura do alumínio injetada muito baixa	Forno de espera não está mantendo a temperatura do forno da máquina 808	Arrumar forno de espera da máquina 808	André / Evandro / Tiago Souza	18/07/2019	100%
Porosidade	Falta de compactação	Canal solidificando antes da hora	Molde Frio	Excesso de paradas de máquina por problema elétrico (Dosal, portas, etc)	Arrumar problemas elétricos da injetora 808	André / Evandro	10/08/2019	25%

FONTE: Autor, 2019

4.6 MODELO DE PEÇA 5:

Um molde novo começou a ser usado para a peça 5 em fevereiro, o que permitiu que houvessem menos defeitos de injeção, ocorrendo apenas um problema em destaque no mês de abril, como podemos ver na figura 28. Através dos 5 porquês, figura 29, foi encontrado o motivo do deslocamento ocasionado por falta de concentricidade dos pinos entre a parte fixa e a móvel do molde. Para evitar que o problema se repetisse, foi incluída no relatório a verificação da concentricidade antes do início da produção.

Figura 28 - Evolução Mensal em % do Modelo da Peça 5



FONTE: Autor, 2019

Figura 29 - 5 porquês do Modelo de Peça 5

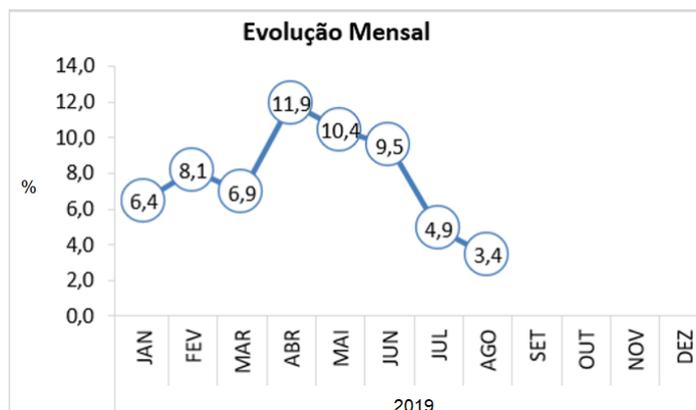
Investigação de Causa					Implementação da Solução			
Primeiro Porque	Segundo Porque	Terceiro Porque	Quarto Porque	Quinto Porque	Solução	Resp	Data	%
Deslocamento	Furos usinados e brutos não concêntricos	Furos do bruto deslocados	Pinos do molde do lado fixo não concêntricos aos pinos do lado móvel	Não havia medição 3D da concentricidade entre os furos feitos pelos pinos do lado fixo e do lado móvel do molde	Acrescentar medição da concentricidade dos pinos no	Juliano	18/04/2019	100%
					Fazer análise dos relatórios 3D quanto à concentricidade	Daniel W.	10/05/2019	100%

FONTE: Autor, 2019

4.7 MODELO DE PEÇA 6:

A peça 6 é uma peça de duas cavidades e de pequeno tamanho, que tem o tempo de ciclo baixo, cerca de 180 peças eram produzidas por hora, diminuindo o tempo em que o molde permanecia em máquina, dificultando a criação de parâmetros ideais. No mês de abril foi dado início a produção no novo molde, o que gerou a necessidade de criar um novo plano de controle para a peça. Essa peça teve como principal defeito o vazamento, O vazamento ocorre em peças que ao passarem pelo teste de estanqueidade não conseguem manter a pressão mínima dentro de suas cavidades. Esse problema está relacionado com a presença de poros, microporos e rechupes. Conforme a figura 30 e 31 é possível ver a evolução mensal e as ações tomadas.

Figura 30 - Evolução Mensal em % do Modelo de Peça 6



FONTE: Autor, 2019

Figura 31 - 5 porquês do Modelo de Peça 6

Investigação de Causa					Implementação da Solução				
Primeiro Porque	Segundo Porque	Terceiro Porque	Quarto Porque	Quinto Porque	Sexto Porque	Solução	Resp	Data	%
Vazamento	Presença de rechupe entre galerias	Falta de compactação da torre de grande massa	Pistão não transferindo toda a pressão do multiplicador para a peça	Pistão desgastado, perdendo pressão para vencer atrito com a bucha	Não foi trocado nas últimas produções o pistão a cada 2000 +500 tiros conforme procedimento o do plano de fabricação	Reciclar preparadores e supervisores da produção quanto à importância da troca do pistão a cada 2000 tiros	Daniel W. / Ederson / Anselmo	08/05/2019	100%
						Acompanhar próxima produção para verificar se há outra variável influenciando na porosidade	Daniel W.	Próxima produção (Programado para 21/05/2019)	100%
Vazamento	Presença de rechupe entre os furos da torre	Falta de compactação	Temperatura do molde abaixo do ideal	Água do contra-pistão ligada		Redefinir a temperatura de trabalho da região do contra pistão	Daniel W. / Rodrigo	29/04/2019	100%
Vazamento	Porosidade entre canais de diâmetro de 6mm	Gás aprisionado	Excesso de lubrificante de pistão	Controle da GRM do granulado não contempla todas as variáveis de controle de granulado		Reduzir a quantidade de lubrificante do pistão	Daniel W.	28/06/2019	100%
						Testar mudanças no tempo de retardo do multiplicador para reduzir vazamento	Daniel T. / Daniel W. / Guilherme Fortes	Em andamento	100%

FONTE: Autor, 2019

4.8 MODELO DE PEÇA 7:

A peça 7 é uma peça de uma única cavidade e com tamanho e complexidade maior que as peças anteriores. Assim como a peça 6 a peça 7 também passa por teste de vazamento. Por ser uma peça com bastante complexidade foi colocado como padrão ideal trabalhar com menos de 5% de refugo, a figura 32 mostra a evolução mensal de peças refugadas em porcentagem. Para alcançar essa meta foram criados planos de controle para inspecionar a peça, visualmente e com o auxílio de uma máquina de raio-x, além de fazer o monitoramento térmico dos moldes com o auxílio de uma câmera térmica no mínimo 2 vezes ao dia. A figura 33 mostra a imagem térmica do molde usando uma escala de cores para verificar as temperaturas em cada região do molde. Porém para não comprometer o tempo de produção, eram enviadas peças de controle para passar no raio-x.

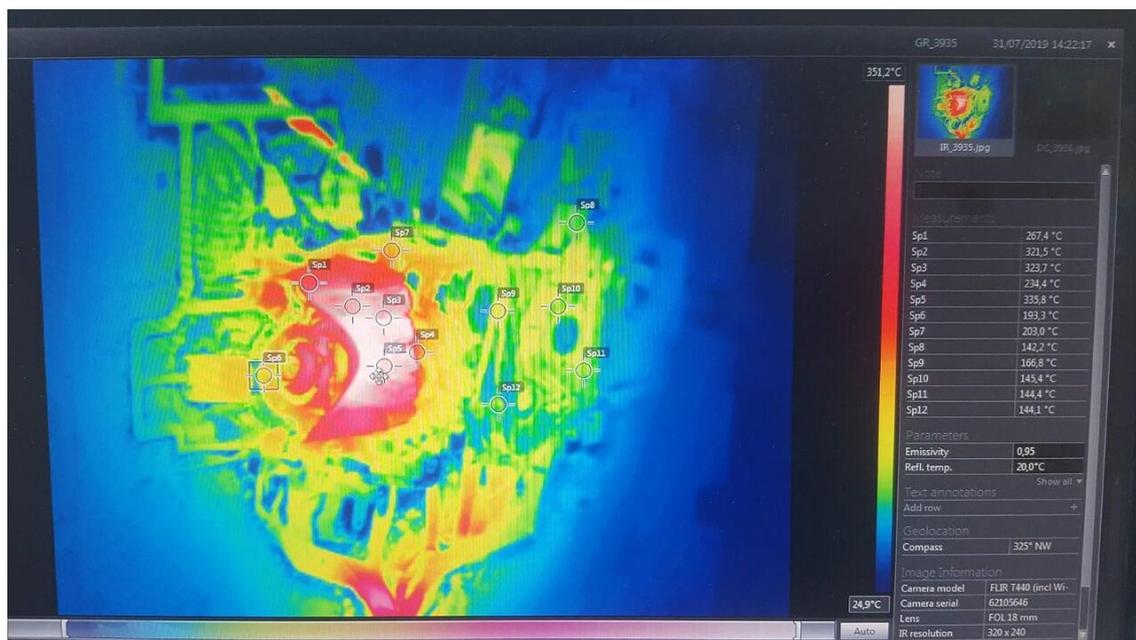
O que gerou um pouco mais de dificuldade é a existência de diferentes moldes para a mesma peça, como cada molde apresenta suas particularidades gerado pelo tempo de uso, foi necessário criar um plano diferente pra cada molde. A figura 34 mostra algumas das ações tomadas no período.

Figura 32 - Evolução Mensal em % do Modelo de Peça 7



FONTE: Autor, 2019

Figura 33 - Foto térmica do Modelo de Peça 7



Fonte: Acervo Pessoal

Figura 34 - 5 porquês do Modelo de Peça 7

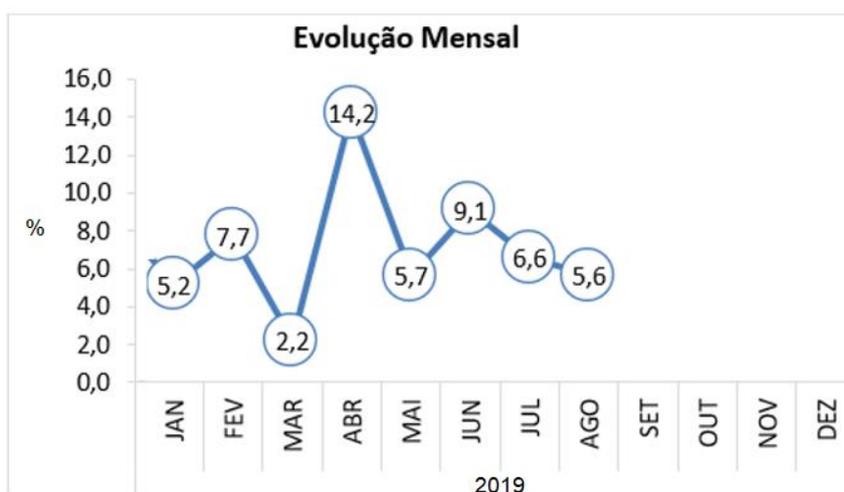
Primeiro Porque	Investigação de Causa				Implementação da Solução			
	Segundo Porque	Terceiro Porque	Quarto Porque	Quinto Porque	Solução	Resp	Data	%
Porosidade	Ar aprisionado na peça	Presença de água no molde antes da injeção	Falta de secagem na região do molde		Melhorar a secagem do molde e padronizar no programa	André / Daniel T.	01/06//2019	100%
					Definir nomenclatura do programa de desmoldagem e secagem para cada molde	Daniel T.	15/06/2019	100%
Vazamento	Rechupe na região do vtc	Pino com temperatura elevada (350°C)	Pino da gaveta superior do lado móvel sem refrigeração e recebendo pouca desmoldagem	Bicos do cabeçote de desmoldagem não estavam direcionados aos machos móveis	Redirecionar bicos do cabeçote do desmoldante para a região de alta temperatura	Daniel T.	24/03/2019	100%
					Acompanhar com imagem térmica	Rodrigo / Guilherme Fortes	Contínuo	100%
Quebra	Falta de apoio no estampo nas regiões dos canais de ataque	Estampo dos moldes 3 e 5 trocados	Há uma diferença entre a espessura da nervura de sustentação do molde 3 e 5 devido ao 3 ter sido feito manualmente e o 5 ser feito na construção do molde	Necessidade de ação imediata no molde 3 para corrigir os problemas constantes de quebra da época	Trocar de estampo	Ederson	08/04/2019	100%
					Alinhar com a produção de que o estampo 3 deve ser usado para o molde 3 e o estampo 4 deve ser usado para o molde 5	Jodas	08/04/2019	100%

FONTE: Autor, 2019

4.9 MODELO DE PEÇA 8:

A peça 8 foi a peça mais difícil de conseguir diminuir o percentual de peças perdidas, por ser uma peça com grande complexidade, tamanho e de aprova-la no teste de vazamento como é possível ver na figura 35. Entre os defeitos mais constantes encontrados foram porosidade, trinca e rechupes, esses três defeitos acabavam gerando vazamento na peça. Um dos motivos para reduzir o número de peças refugadas foi a existência de 3 moldes diferentes para a mesma peça, com cada um tendo diferentes temperaturas ideais para o mesmo ponto, além de precisar trabalhar com diferentes pressões no pistão devido o desgaste de cada molde. As principais ações tomadas através dos 5 porquês estão apresentadas na figura 36.

Figura 35 - Evolução Mensal em % do Modelo de Peça 8



FONTE: Autor, 2019

Figura 36 - 5 porquês do Modelo da Peça 8

Investigação de Causa					Implementação da Solução			
Primeiro Porque	Segundo Porque	Terceiro Porque	Quarto Porque	Quinto Porque	Solução	Resp	Data	%
Vazamento	Comunicação entre galerias (bruto c/ usinagem)	Região apresentava poros na região	Aprisionamento de ar na bucha devido à turbulência excessiva do metal líquido	Cota de 2ª fase muito adiantada	Aumentar cota de 2ª fase de 440mm para 500mm	Daniel T.	22/07/2019	100%
Vazamento	Rechupe na região	Falta de compactação	Solidificação do canal de ataque antecipada	Temperatura do alumínio baixa, solidificando antes da compactação	Elevar a temperatura do alumínio para 670 a 680°C	Daniel T.	22/07/2019	100%
Trinca	Concentração de tensões na região	Região com canto vivo	Pouco raio na região	Não foi previsto modo de falha durante projeto	Aumentar raio na região para reforço	Daniel T.	12/07/2019	100%
Vazamento	Presença de microporosidade na região do vazamento	Região com excesso de temperatura	Extração de calor pela refrigeração por cascata da região ineficiente	Vazão de água no interior da cascata insuficiente devido ao dimensionamento da cascata	Aumentar o comprimento do pino de 67mm para 71mm e diâmetro de 6mm para 8mm	Jodas / Edison	02/05/2019	100%
					Padronizar projetos dos moldes	José Jodas / Adriel	02/05/2019	100%
Vazamento	Presença de trinca térmica na região de vazamento	Temperatura da gaveta do lado oposto ao operador muito fria	Excesso de desmoldagem direcionada à gaveta		Reposicionar a desmoldagem para não aplicar na parte superior do molde e diminuir na gaveta para aumentar a temperatura da região	Luciano	22/04/2019	100%
					Revisar o padrão térmico	Guilherme Fortes	29/04/2019	100%
					Definir plano de complemento de desmoldagem manual do operador	André	22/04/2019	100%
Vazamento	Comunicação entre galerias da região de alta pressão	Presença de rechupe na região	Pino da parte fixa estava menor, gerando ponto de massa maior que o ideal	Divergência entre projetos de molde, sendo que 2 estavam desatualizados, com o pino menor	Trocar o pino da parte fixa para o tamanho definido na última versão do projeto	André / Felipe	15/04/2019	100%

FONTE: Autor, 2019

5 CONCLUSÃO

Pode-se concluir que o objetivo geral de diminuir o número de peças refugadas, pós usinagem por defeitos relacionados ao processo de injeção, foi alcançado. O uso do diagrama de Pareto foi essencial para determinar as peças que seriam analisadas, e o uso dos 5 porquês, junto com o conhecimento sobre os defeitos de injeção, foi de grande importância para determinar a causa raiz das não conformidades.

Percebeu-se também, como o monitoramento diário foi de suma importância para a redução das peças descartadas, e nos finais de semana, que não acontecia o monitoramento do refugo, existia um aumento significativo em relação aos dias de semana. Isso devido há falta de comunicação entre os setores de usinagem e injeção. Essa falta de comunicação acabava levando a produção de várias peças defeituosas na injeção, as vezes podendo condenar um dia inteiro de produção.

Entre os 8 modelos de peças analisadas durante esse projeto foi notória a maior dificuldade de estabilizar e reduzir o número de peças refugas que passavam pelo teste de estanqueidade, isso devido a dificuldade de encontrar o local de vazamento e por ser um problema possível de identificar pós usinagem, exceto quando encontrado alguma ligação entre poros internos ou nuvem de poros na máquina de raio-x.

Entre as principais vantagens de documentar todos os defeitos principalmente identificado a causa raiz usando os 5 porquês é a de melhoria continua na criação dos novos moldes, e estampos. Garantindo um melhor fluxo do alumínio nas partes críticas e melhor posicionamento das bolsas de ar e dos canais de ataque. E no estampo garantido que não ocorra quebras negativas.

6 REFERÊNCIAS

ANDRESEN, B, **Die Casting Engineering**, Marcel Dekker, New York, 2007

Avedesian, M. M, Baker, H., **ASM Specialty Handbook: Magnesium and Magnesium Alloys**, ASM International Handbook, 1999.

MALAVAZI, J. **Manual de Fundição sob Pressão**. Presidente Altino, SP. Votorantim Metais, 2010

Ohno, T. **O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala**, Bookman, Porto Alegre, 1997

PALADINI, E. P. **Gestão da qualidade: teoria e prática**. 3. ed. Atlas, São Paulo, 2012

Sickles, R. Zelenyuk, V., **Measurement of Productivity and Efficiency: Theory and Practice**, Cambridge University Press, 2019

YIN, R. **Applications of case study research**. Newbury Park, CA: Sage Publishing, 1993

YIN, R. **Estudo de caso. Planejamento e métodos**. 2ª edição, Porto Alegre/RS: Bookman, 2001

Vendramim, J.C., **Considerações sobre a vida útil de moldes para fundição de alumínio sob pressão**, 2020

VINARCIK, E. J., **High Integrity Die Casting Processes**, John Wiley & Sons, Hoboken, Canada, 2002.

VOSS, C; TSIKRIKTSIS, N; FROHLICH, M. Case research in operations management. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 195-219, 2002

Walkington, W. **Die Casting Defects: Causes and Solutions**, North American Die Casting Association, 1997

WEISS, A.E. **Key business solutions: essential problem-solving tools and techniques that every manager needs to know**. Pearson Education Limited, Grã-Bretanha, 2011.