



INSTITUTO FEDERAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO

Campus Recife

Departamento de Engenharia Mecânica

Bacharel em Engenharia Mecânica

DAVID NICACIO OLIVEIRA DE BARROS

**MELHORIA DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE ENGRENAGENS MOVIDAS
APLICADAS AO SISTEMA DE PARTIDA DE MOTOCICLETAS: UM ESTUDO DE
CASO**

Recife, Pernambuco

2023

DAVID NICACIO OLIVEIRA DE BARROS

**MELHORIA DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE ENGRENAGENS MOVIDAS
APLICADAS AO SISTEMA DE PARTIDA DE MOTOCICLETAS: UM ESTUDO DE
CASO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Graduação em Bacharel em Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Pernambuco, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Tiago de Sousa Antonino.

Recife, Pernambuco

2023

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Danielle Castro da Silva CRB4/1457

B277a

2023 Barros, David Nicacio Oliveira de

Melhoria do processo de fabricação de engrenagens movidas aplicadas ao sistema de partida de motocicletas: um estudo de caso. / David Nicacio Oliveira de Barros. --- Recife: O autor, 2023.

66f. il. Color.

Trabalho de Conclusão (Curso Superior Tecnológico em Engenharia Mecânica) – Instituto Federal de Pernambuco, Recife, 2023.

Inclui Referências.

Orientador: Prof. Dr. Tiago de Sousa Antonino.

1. Ferramentas da qualidade. 2. Processo de fabricação. 3. Engrenagem de Partida Movida. 4. MASP. I. Título. II. Antonino, Tiago de Sousa (orientador). III. Instituto Federal de Pernambuco.

CDD 620.1

**MELHORIA DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE ENGRENAGENS MOVIDAS
APLICADAS AO SISTEMA DE PARTIDA DE MOTOCICLETAS: UM ESTUDO DE
CASO**

Trabalho aprovado. Recife, 25 de julho de 2023.

Prof. Dr. Tiago de Sousa Antonino

Orientador

Prof. Dr. Pablo Batista Guimarães

Examinador Interno

Prof. Dr. Alex Elton de Moura

Examinador Externo

Recife, Pernambuco

2023

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus por ter me ajudado e me guiado com sabedoria por toda a minha caminhada.

Agradeço a meus pais Denildo e Mauriceia por me guiarem e me mostrarem o caminho da vida, por sempre acreditarem em mim e fazer o possível e o impossível para eu pudesse ter um ensino de qualidade em toda a minha vida acadêmica.

Agradeço a Joyce por partilhar comigo alguns dos momentos difíceis e entender que muitas vezes foi preciso fazer sacrifícios em busca de um objetivo maior.

Agradeço aos meus amigos de trabalho Anderson, Daniel, Erica, Jessica, Kley, Mayara e todos os outros que junto comigo se empenharam para que no fim tudo desse certo.

Agradeço a todos os amigos da faculdade que tornaram esses difíceis anos mais leves e que me ajudaram a levantar a cabeça quando necessário.

Agradeço aos professores José Ângelo Peixoto e Héber Cláudius Nunes Silva por terem me ajudado na difícil tarefa de conciliar faculdade e trabalho durante minha trajetória acadêmica.

Agradeço ao professor Tiago de Sousa Antonino por ter me ajudado com o desenvolvimento teórico deste trabalho.

Por fim, agradeço a todos aqueles que direta ou indiretamente me ajudaram até aqui.

“Nossa maior fraqueza está em
desistir. A maneira mais certa de ter
sucesso é sempre tentar mais uma vez”
(Thomas Edson)

RESUMO

Com a globalização do comércio é crescente a presença de produtos manufaturados no mercado asiático dentro do Brasil. Com a forte concorrência e com preços cada vez mais competitivos, faz-se necessário que as empresas brasileiras reinventem seu princípio de funcionamento em busca de melhores resultados. No cenário metalúrgico tal necessidade não é diferente. É preciso que os processos produtivos sejam cada vez mais enxuto e com o menor índice de refugo possível. As ferramentas da qualidade possuem um enorme poder no auxílio da resolução de problemas. Devem ser aplicadas para otimizar o processo produtivo, apontar falhas e indicar direção na tomada de ações. Nesse trabalho foi utilizado a metodologia MASP e foram aplicadas as ferramentas da qualidade em um estudo de caso dentro de uma metalúrgica para identificar pontos de melhorias dentro do processo e otimizar o processo de fabricação da engrenagem de partida movida utilizada no auxílio da partida elétrica de motocicletas 150 cilindradas. A metodologia do trabalho consiste em mapear toda a linha de fabricação do modelo utilizando os indicadores KPI para avaliar produtividade, qualidade, segurança, custo e *delivery*, aplicar a matriz de decisão GUT para apontar e guiar as tomadas de decisões, utilizar o diagrama Ishikawa de acordo com os 6m's, aplicar a ferramenta brainstorming para propor as soluções. Foram propostas três soluções e após a realizações dos testes, o problema foi solucionado. Como resultado, o processamento de peças com problema de falha de material nos diâmetros de furo e cubo foi eliminado. Também houveram ganhos adicionais com melhorias de processos realizadas durante os testes das propostas.

Palavras-chave: Ferramentas da qualidade; processo de fabricação; engrenagem de Partida Movida; MASP.

ABSTRACT

With the globalization of commerce, there's an increasing presence of manufactured products from the Asian market within Brazil. With strong competition and increasingly competitive prices, it is necessary for Brazilian companies to reinvent their operating principles in pursuit of better results. In the metallurgical scenario, this need is no different. It is imperative that production processes become increasingly lean and with the lowest possible reject rate. Quality tools have enormous power in assisting problem resolution. They should be applied to optimize the production process, point out failures and indicate direction in decision making. In this study, the MASP methodology was used and quality tools were applied in a case study within a metallurgical factory to identify improvement points within the process and optimize the manufacturing process of the starter gear used in assisting the electric start of 150 cc motorcycles. The work methodology consists of mapping the entire manufacturing line of the model using the KPI indicators to evaluate productivity, quality, safety, cost, and delivery, applying the GUT decision matrix to point out and guide decision-making, using the Ishikawa diagram according to the 6M's, and applying the brainstorming tool to propose solutions. Three solutions were proposed and after conducting tests, the problem was resolved. As a result, the processing of parts with material failure problems in bore and hub diameters was eliminated. There were also additional gains with process improvements made during the tests of the proposals.

Keywords: Quality tools; manufacturing process; driven starting gear; MASP.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema da queima dentro de um pistão.....	13
Figura 2 - Esquema de funcionamento dentro de um motor	14
Figura 3 - Contato entre as Engrenagens Motora e Movida.....	15
Figura 4 - Engrenagem Movida de Partida com Falha de material	16
Figura 5 - Diagrama Causa e Efeito	45
Figura 6 - Fixação GEAR AX1 - Operação Calibração.....	46
Figura 7 - Fluxo de Manufatura do Produto.....	47
Figura 8 - Instrução de Serviço Op. Torneiar	48
Figura 9 - Instrução de Serviço Op. Fresar Dentes	49
Figura 10 - Circularidade do Furo Op. Torneamento.....	53
Figura 11 - Fixação Op. Torneamento	54
Figura 12 - Avaliação da Deformação do Furo.....	55
Figura 13 - Instrução de Serviço Op. Desbastar	57
Figura 14 - Sistema de Fixação por Pinça	59
Figura 15 - Acúmulo de Cavaco no Flange	59
Figura 16 - Falha de Usinagem na Face	60
Figura 17 - Comparativo entre Deformação da Região do Furo.....	61

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Indicador de PPLH.....	30
Gráfico 2 - Reclamação Cliente Interno	31
Gráfico 3 - Reclamação Cliente Externo	32
Gráfico 4 - Custo com Manutenção de Equipamentos	33
Gráfico 5 - Custo com Refugo	33
Gráfico 6 - Custo com Ferramentas	33
Gráfico 7 - Peças Produzidas por Mês.....	34
Gráfico 8 - Custo com Frete Aéreo.....	35
Gráfico 9 - Acidentes.....	36
Gráfico 10 - Custo com Refugo por Modelo	41
Gráfico 11 - Principais Motivos de Refugo (Gear - AX1)	43
Gráfico 12 - Custo com Refugo por Falha de Material	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Matriz Decisão - PPLH	37
Tabela 2 - Matriz Decisão - Reclamação Cliente Interno	37
Tabela 3 - Matriz Decisão - Custo Manutenção de Equipamentos.....	38
Tabela 4 - Matriz de Decisão – Custo com Refugo de Peças	38
Tabela 5 - Matriz de Decisão – Delivery.....	39
Tabela 6 - Matriz de Decisão - Segurança	40
Tabela 7 - Matriz De Decisão – Índice Geral De Prioridade	40
Tabela 8 - Custo com Refugo.....	41
Tabela 9 - Custo com Refugo (Gear - AX1)	42
Tabela 10 - Medição da Concentricidade	50
Tabela 11 - Diâmetro do Furo Op. Torneiar	52

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Motivação	16
1.2 Objetivo geral	17
1.3 Objetivos específicos	17
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1 Processo de Fabricação Mecânica	18
2.1.1 Serramento	18
2.1.2 Forjamento	19
2.1.3 Torneamento	19
2.1.3.1 Fixação de Torneamento	20
2.1.4 Fresamento de Engrenagens	21
2.1.4.1 Fresamento de Engrenagens com Fresas de Disco	21
2.1.4.2 Fresamento de Engrenagens com Ferramentas de Dentes Helicoidais (Caracol)	21
2.1.5 Tratamentos Térmicos	22
2.1.5.1 Cementação	23
2.2 Ferramentas da Qualidade	23
2.2.1 <i>KPI (Key Performance Indicator)</i>	23
2.2.2 <i>Matriz de Prioridade GUT</i>	24
2.2.3 <i>Diagrama de Pareto</i>	25
2.2.4 <i>Diagrama de Causa e Efeito</i>	25
2.2.5 <i>Brainstorming</i>	26
2.2.6 <i>5 Porquês</i>	26
2.2.7 <i>CEP (Controle Estatístico de Processo)</i>	27
2.3 Método de Elementos Finitos (MEF)	27
3 METODOLOGIA	29
3.1 Análise de indicadores KPI (<i>Key Performance Indicator</i>)	30
3.1.1 <i>Produtividade</i>	30
3.1.2 <i>Qualidade</i>	31
3.1.3 <i>Custo</i>	32
3.1.4 <i>Delivery</i>	34

3.1.5 Segurança	35
3.2 Matriz GUT	36
3.2.1 Avaliação do Indicador Produtividade	37
3.2.2 Avaliação do Indicador Qualidade	37
3.2.3 Avaliação do Indicador Custo	38
3.2.4 Avaliação do Indicador Delivery	39
3.2.5 Avaliação do Indicador Segurança	39
3.2.6 Definição do Indicador a Ser Trabalhado	40
3.3 Diagrama de Pareto	40
3.4 Diagrama Causa e Efeito	44
3.5 Avaliação da Matéria Prima	46
3.6 5 Porquês	50
3.7 Soluções Propostas	56
4 RESULTADOS E ANÁLISES	58
4.1 Alteração do Dispositivo de Fixação da Operação de Torneamento	58
4.2 Redução da Pressão de Fixação	60
4.3 Mudança no Fluxo de Manufatura do Processo	61
4.3.1 Análise de Retorno Financeiro	62
4.3.1.1 Análise do Custo com Refugo	62
4.3.1.2 Economia com o Custo Peça	63
5 CONSIDERAÇÕES	64
REFERÊNCIAS	65

1 INTRODUÇÃO

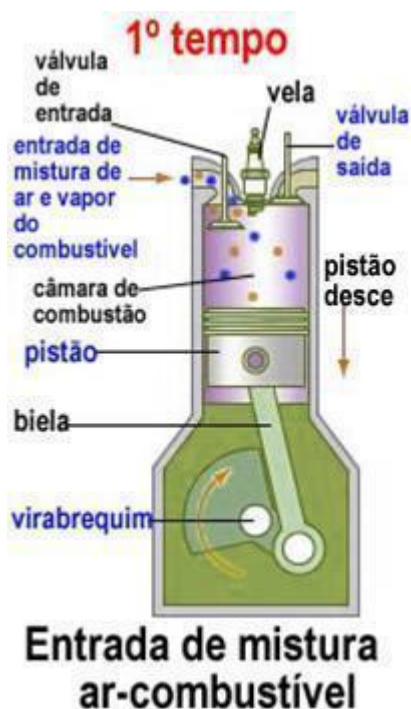
Na segunda guerra mundial o Japão foi um dos países que mais sofreu com a devastação na estrutura física das cidades, problemas nos transportes, escassez de combustível, etc. Vivenciando o cenário da época um empresário chamado Soichiro Honda iniciou a produção e venda de veículos ciclomotores com motores a combustão interna, que devido a facilidade de locomoção e autonomia, logo se tornou sucesso de vendas no país.

Motores a combustão interna são máquinas térmicas que transformam a energia química oriunda da reação entre a centelha da vela de ignição e o combustível, **Figura 1**, em energia mecânica (MARTINS, 2013). Essa reação impulsiona o pistão com o movimento alternativo de subida e descida, **Figura 2**, e gera rotação no eixo do virabrequim.

Figura 1 - Esquema da queima dentro de um pistão



Figura 2 - Esquema de funcionamento dentro de um motor



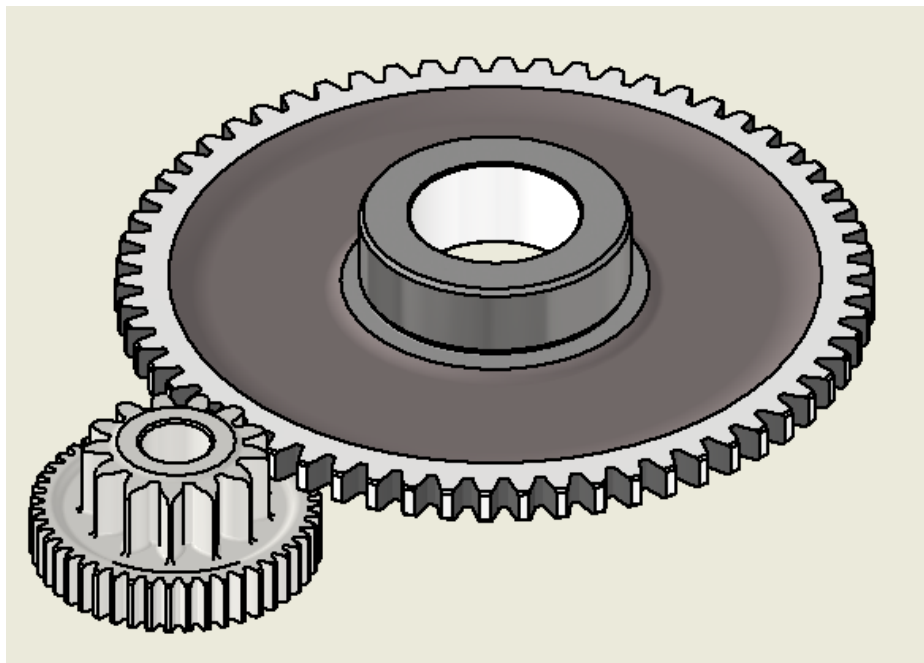
Fonte: FOGAÇA, 2012.

O virabrequim é um componente mecânico responsável por transmitir a rotação gerada pelos pistões para o sistema de transmissão do veículo. A partir daí todo o conjunto de engrenagens começam a trabalhar, e faz com que o veículo se movimente (MAZZO, 2013).

No entanto, para que ocorram as primeiras rotações no virabrequim, é necessário retirar o motor da inércia e fazê-lo gerar as rotações iniciais. Para isso, é utilizado o sistema de partida do veículo.

O sistema de partida consiste em um motor elétrico que ao ser acionado por um botão de partida de ignição, transmite movimento para uma engrenagem motora de partida, comumente chamada de pinhão (MAZZO, 2013). O pinhão faz o contato com a engrenagem movida de partida, **Figura 3**, que por possuir número de dentes e diâmetro maior é conhecida também como cremalheira (MAZZO, 2013). A engrenagem movida de partida faz contato com um sistema unidirecional que é acoplado ao virabrequim e faz com que o mesmo gere as rotações iniciais suficientes para que ocorra as primeiras reações de combustão na câmara de combustão e o conjunto de partida não seja mais necessário.

Figura 3 - Contato entre as Engrenagens Motora e Moviada



Fonte: Autor, 2022.

Devido grande importância desse conjunto, é importante que os componentes atendam todos os requisitos do projeto mecânico e possuam a melhor qualidade possível para um bom funcionamento do sistema e boa durabilidade.

Objetivando a excelência na qualidade do seu produto, uma metalúrgica multinacional do segmento automotivo e especializada em processos de fabricação de engrenagens (DINIZ; MARCODES; COPPINI, 2014; FERRARESI, 1970; MAZZO, 2013), acompanha seus indicadores de produção a fim de manter o seu processo mais estável possível e atender aos requisitos de seu cliente. Durante esses acompanhamentos foi observado que um de seus produtos, a engrenagem movida de partida, apresentava um elevado índice de rejeição na operação final de acabamento do processo de calibração do diâmetro do furo. Imediatamente foi realizada uma vistoria na linha de produção a fim de identificar qual característica encontrava-se fora do especificado na folha de serviço. Foi identificado que um percentual considerável de todo volume produzido apresentava uma mudança de coloração (seta vermelha) na seção do furo, **Figura 4**, indicando que havia falha de material naquela região.

Figura 4 - Engrenagem Movida de Partida com Falha de material



Fonte: Autor, 2022.

Verificado o problema, foi formado um grupo multifuncional composto por colaboradores da engenharia de processos de fabricação, engenharia industrial e engenharia de qualidade para chegar na causa raiz e solucionar o problema encontrado.

1.1 Motivação

No polo metalúrgico, a lucratividade é um dos fatores que mais influenciam na estabilidade e longevidade da empresa. Custos com insumos, matéria prima, desperdícios e principalmente refugo, devem ser reduzidos ao mínimo possível, para tornar a empresa competitiva no mercado.

Quando analisados os indicadores referentes à empresa Metalúrgica em questão, foi observado que o volume produzido da engrenagem movida de partida representa aproximadamente 20% de todo o faturamento da empresa. Um valor considerável, que tem um peso direto na lucratividade da empresa.

Por ser uma engrenagem com características específicas, esta possui um grande valor agregado, visto que são necessárias várias operações de usinagem e tratamento térmicos, e um longo fluxo passando por diferentes processos de

fabricação. A operação de calibração é a operação mais cara, tornando assim o custo com o refugo muito elevado. Traçar formas para reduzir o custo com a refugo nesta operação é essencial.

Ainda no quesito custo, mas não olhando somente para o custo de processo, e pensando em custo com matéria prima, pode-se notar a importância de reduzir a perda gerada pelo consumo de aço com o objetivo de atingir as metas do SDG (*Sustainable Development Goals*) estabelecidas pela ONU para atendimento até 2030. O consumo de aço utilizado na fabricação desta peça aproxima-se de 8 toneladas por ano, gerando um grande impacto ambiental, sendo necessário atuar para reduzir esse desperdício.

Desta forma, existe a necessidade de se reduzir o nível de refugo da Engrenagem Movida de Partida, da empresa Metalúrgica em questão, de forma a conseguir diminuir o custo com a operação de calibração, além de diminuir o consumo de matéria prima total.

1.2 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é melhorar o processo de fabricação de engrenagens movidas aplicadas ao sistema de partida de motocicletas numa indústria metalúrgica da região para reduzir a quantidade de refugos.

1.3 Objetivos específicos

- Realizar levantamento bibliográfico sobre os processos de fabricação aplicados no produto em questão.
- Realizar levantamento de todos os indicadores de produção do produto.
- Avaliar fluxo de processo de fabricação
- Realizar *brainstorming* junto com a equipe multifuncional reunida para correção do problema
- Aplicar as ferramentas da qualidade para mapear os problemas encontrados e utilizar o MASP (método de análise e solução de problemas)
- Encontrar a causa raiz do problema e traçar estratégias para soluções.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta fase do trabalho está relacionada com a concepção teórica da literatura. O objetivo desta parte é descrever melhor os diferentes tipos de processos mecânicos de fabricação usados para fabricar o produto sob investigação. Também mostrar as principais ferramentas da qualidade, suas respectivas aplicações dentro da indústria automotiva e métodos de avaliação para análise e solução de problemas. Esta parte do trabalho proporciona uma melhor compreensão das ferramentas utilizadas para desenvolver o tema proposto e a justificativa para as escolhas realizadas ao longo deste trabalho.

2.1 Processo de Fabricação Mecânica

Os processos de fabricação mecânica envolvem a transformação de materiais brutos em produtos acabados através de várias técnicas e procedimentos. Os processos são escolhidos com base na qualidade do material, na sua disponibilidade, nas propriedades físicas e químicas do material e nas especificações do produto final.

2.1.1 Serramento

A operação de serrar uma barra é a primeira operação do fluxo de fabricação do produto avaliado. Nesse processo, a barra é serrada e preparada para aquecimento por indução e posteriormente a operação de forjamento.

Em geral, a principal função do processo de serramento com uma serra de fita no chão de fábrica é realizar o corte da matéria prima. Produtos usinados pelos processos de torneamento, fresamento ou outros processos de usinagem provavelmente originaram-se de uma barra serrada. Na indústria, máquinas de serra de fita para usinagem de metais são caracterizadas por baixos custos operacionais, fácil manuseio, boa confiabilidade e longevidade (ZWIRTES, MORENO, SCHROETER, 2013).

2.1.2 Forjamento

O forjamento é o processo de fabricação mais antigo por conformação plástica. Vários objetos de metal foram encontrados em sítios arqueológicos nas terras bíblicas, indicando que os povos pré-históricos já faziam artefatos por forjamento. Com a evolução da civilização os processos foram se modificando, melhorando e se adaptando até a condição atual do processo que consiste em utilizar equipamentos mecânicos, prensas, para exercer uma carga no material previamente aquecido a fim de deformá-lo (FERREIRA, 2010).

O forjamento de metais pode ser feito de duas formas convencionais, dependendo da forma e do grau de precisão exigidos para o produto. Esses modos são: forjamento livre e forjamento por matrizes. O primeiro modo permite que o material flua livremente entre as superfícies. São comumente usados para a fabricação de pré-formas. O segundo utiliza ferramentas, matrizes e punções para restringir o movimento do material. Esse tipo de forjamento é utilizado quando se deseja obter uma forma bem definida e tolerâncias dimensionais mais restritas (FERREIRA, 2010).

Após a matéria prima serrada e aquecida é utilizado o processo de forjamento para definir a geometria inicial do produto.

2.1.3 Torneamento

Torneamento é o primeiro processo de usinagem aplicado ao material que consiste na remoção de material do produto para atender as especificações definidas previamente. Atualmente há uma grande gama de fixações para os produtos na operação de torneamento. A grande maioria do mercado utiliza fixação de três pontos por castanhas ou pinças de fixação que se adaptam de uma melhor forma a geometria do produto.

Esse processo pode ser subdividido de acordo com o modo de funcionamento do equipamento. No modo de usinagem com torno tradicional, o produto é fixado na placa de fixação, é determinada a rotação e o movimento da ferramenta é coordenado pelo operador do equipamento. No processo de torneamento computadorizado, o

equipamento é acionado por comandos numéricos que determinam condições de usinagem tais como: rotação da peça, avanço da ferramenta e velocidade de corte. Esse método permite obter a superfície de revolução usando uma ou mais ferramentas. Para fazer isso, a peça deve ser girada em uma determinada frequência. Esta frequência é alcançada pelo parâmetro de rotação (rpm). Além disso, a ferramenta de corte deve ser avançada em relação à ferramenta, causando o chamado "movimento de avanço". Este movimento é possível especificando um parâmetro de avanço (mm/revolução) (LIMA, ROLIM, 2013).

2.1.3.1 Fixação de Torneamento

A fixação da operação de torneamento tem a função de envolver a peça e impedir que a mesma se movimente resistindo aos esforços causados durante o processo de usinagem (BOCHINIA, KOZIOR, 2018).

Há no mercado sistemas de fixação de torneamento por castanhas e pinças. A fixação por castanha pode ser de três, quatro ou mais pontos. O modelo a ser utilizado é definido de acordo com a geometria do produto a ser fixado. A grande maioria das peças usinadas no torno possuem geometria cilíndrica, portanto, a fixação de três pontos atende perfeitamente às necessidades. No entanto, alguns modelos podem necessitar de um número maior de castanhas para garantir que a peça esteja devidamente fixada e apta para suportar os esforços de usinagem sem se mover.

Há também um grupo mais específico de produtos que requerem um sistema de fixação mais robusto e tecnológico. Tal necessidade surge devido a complexa geometria que permite paredes finas ou poucas regiões de contato com as castanhas. Para atender tal demanda são utilizadas as pinças de fixação que podem fixar a peça internamente ou externamente e tem um grau de recobrimento de toda a região, diferente das castanhas que tocam a peça apenas em alguns pontos específicos. A pinça também tem a vantagem de evitar a deformação da peça devido ao esforço causado e força de prensagem exercida na peça durante a usinagem.

2.1.4 Fresamento de Engrenagens

Fresamento é um dos processos de fabricação mais utilizados na manufatura mundial. Esse processo tanto pode ser aplicado em centros de usinagem para confecção de peças com geometrias complexas, quanto para geração de dentes de engrenagens.

Máquinas ferramentas são necessárias para usinar engrenagens usando processos de geração de dentes. Essas máquinas são chamadas de fresadoras. Há vários tipos de ferramentas para realizar a usinagem dos dentes e de acordo com cada tipo de ferramenta de corte, há um modelo de equipamento dedicado para tal (STIPKOVIC, 1973).

2.1.4.1 Fresamento de Engrenagens com Fresas de Disco

Para usinar uma engrenagem com esse tipo de ferramenta, a ferramenta deve possuir o mesmo perfil que o desejado nos dentes da engrenagem. A vantagem desse tipo de ferramenta é que seu perfil permanece funcional mesmo após as afiações necessárias para restaurar a aresta de corte que se desgasta de acordo com volume produzido. As máquinas utilizadas para esse tipo de usinagem são fresadoras universais e requerem a utilização de um dispositivo denominado aparelho divisor. Esse dispositivo possui a função de auxiliar a rotação da engrenagem no passo correto para formação dos dentes da engrenagem (BUOGO, 2010). No entanto, por ser um processo manual, o tempo necessário para confecção de apenas uma engrenagem torna-se elevado. Fato que inviabiliza a utilização desse modo de confecção para produção em larga escala.

2.1.4.2 Fresamento de Engrenagens com Ferramentas de Dentes Helicoidais (Caracol)

Esse tipo de fresamento por geração utiliza ferramentas helicoidais que são caracterizadas por possuírem rosca sem fim (STIPKOVIC, 1973). Denominadas de caracol, esta ferramenta é análoga à um parafuso quando se pensa em rosca com

múltiplas entradas. Uma ferramenta caracol é análoga à uma rosca cônica (NORTON, 2004).

Como principal vantagem, esse tipo de ferramenta de corte pode ser utilizada para diversos modelos de engrenagens, desde que sejam respeitados o módulo e ângulo de pressão.

Quando se faz um comparativo entre o fresamento com ferramenta caracol e os demais processos citados, temos esse como o método de usinagem com mais precisão e velocidade, além da garantia de um melhor acabamento na região do dente da engrenagem. Para uso desse tipo de ferramenta faz-se necessário uma máquina ferramenta denominada fresadora caracol.

2.1.5 Tratamentos Térmicos

O aço, que é conhecido como a matéria prima do mundo, pode ser modificado de infinitas possibilidades variando como: composição química da liga ou tratamentos térmicos e termoquímicos, que nos dá uma maior versatilidade de propriedades mecânicas. Atualmente o aço é matéria prima para manufatura dos produtos utilizados nas indústrias de transporte, construção civil, aeroespacial, metalmeccânica entre várias outras.

É difícil imaginar como seria a sociedade se as propriedades do aço não pudessem ser modificadas com as aplicações dos diversos tipos de tratamentos térmicos presentes na atualidade.

Praticamente todo o aço usado como matéria prima irá passar por algum processo de tratamento térmico. Esse é o motivo pelo qual o aço vem sendo utilizado extensivamente na manufatura durante os últimos anos (DOSSETT, BOYER, 2006).

O carbono é o principal aditivo de liga que aproveita o fenômeno alótropo para trazer o ferro ao estado estrutural comumente conhecido como aço. Mesmo em aços inoxidáveis altamente ligados, é o pequeno elemento de carbono que controla as propriedades exigidas na engenharia mecânica (DOSSETT, BOYER, 2006).

2.1.5.1 Cementação

O processo de cementação é um processo termoquímico que possui a finalidade de endurecer superficialmente o material sem alterar a ductilidade e tenacidade do núcleo. Ao combinar o aquecimento realizado pelos fornos à adição química de carbono é possível obter características específicas de dureza, resistência ao desgaste e mudança da composição química apenas da região endurecida superficialmente (LAMIM, 2016).

A cementação é um exemplo clássico de endurecimento superficial. Esse tratamento fortalece a superfície dos aços de baixo carbono com carbono em temperaturas onde a faixa de austenita é estável (900-950°C) e aumenta a solubilidade desses átomos no ferro (NUNES, 1999).

2.2 Ferramentas da Qualidade

No cenário econômico atual, destaca-se o crescimento de todos os setores do mercado em novas configurações diante do intenso desenvolvimento provocado pelos aparatos trazidos pela globalização.

Ao longo dos anos, a presença da tecnologia, o aumento da concorrência e a globalização criaram a necessidade de implementar novos processos de controle de qualidade, a fim de estabelecer parâmetros os quais fosse possível otimizar a qualidade dos produtos fabricados (DANIEL, MURBACK, 2014).

A fim de proporcionar melhores condições para as empresas sobreviverem em um mercado altamente competitivo, os processos de qualidade devem agora ser redesenhados para priorizar a satisfação total do cliente.

2.2.1 KPI (*Key Performance Indicator*)

Os *Key Performance Indicator* (KPIs) são um importante meio de medir o nível de desempenho de uma organização e continuam sendo um fator chave na tomada

de decisões, e podem ser combinados com as estratégias e metas da empresa para melhorar significativamente as atividades internas (SANTOS, DOS SANTOS, 2018).

Neste trabalho foram avaliados os indicadores de produção a fim de entender como se comportam as diversas áreas de fábrica. Os indicadores avaliados foram produtividade, qualidade, custo, entrega e segurança. Esses são os itens mais importantes de controle para uma indústria. A produtividade avalia se é possível produzir toda demanda solicitada pelo cliente, a qualidade avalia a satisfação do cliente com os produtos fabricados, entrega avalia se as remessas de pedidos estão sendo atendidas dentro do prazo estabelecido ou se há algum custo adicional com isso e segurança avalia se as condições de trabalho fornecidas estão de acordo com as normas internas da empresa.

2.2.2 Matriz de Prioridade GUT

Com um nome derivado das siglas *Gravity*, *Urgency* e *Trend*, a matriz de prioridade GUT visa priorizar e resolver problemas de forma eficaz. A matriz de prioridade GUT permite um melhor controle do processo ou tomada de decisão baseada em dados para garantir que as decisões sejam corretas.

Desenvolvida pelos especialistas em solução de problemas organizacionais Kepner e Tregoe, a metodologia GUT teve como objetivo orientar decisões mais complexas, decisões que afetam muitos problemas. A metodologia aplicada à matriz é muito simples e cada um desses elementos deve ser avaliado ao usar a ferramenta. Gravidade: O impacto desta questão nas pessoas, processos de negócios, resultados de curto e longo prazo. Urgência: Quanto tempo leva para resolver um problema e quanto tempo ele irá piorar se nada for feito. Tendência: Como é provável que esse problema cresça e como ele desaparecerá por conta própria (DE OLIVEIRA, SANTOS, DOS SANTOS, 2014).

O procedimento de análise consiste em atribuir uma nota de 1 a 5 para cada dimensão da matriz, então é necessário mensurar os problemas para definir quais serão priorizados. Uma escala de 1 a 5 deve ser proporcional ao problema: 5 - Muito grave e urgente, tendendo a piorar se não forem tomadas as medidas necessárias. 4 - Muito grave, urgente e precisa de prioridade no curto prazo. 3 - Grave e precisa ser feito o mais rápido possível. Vai piorar a médio prazo. 2 - Moderadamente grave e

pode levar muito tempo para corrigir. Fica pior com o tempo. 1 - Não é sério, não tem pressa de resolver, não piora e às vezes melhora por conta própria.

2.2.3 Diagrama de Pareto

O Princípio de Pareto afirma que entre todas as causas de problemas, existem algumas das principais causas que são responsáveis pela maior parte dos efeitos indesejados. Portanto, uma vez identificadas algumas das principais causas de alguns dos principais problemas de uma empresa, quase todas as perdas podem ser eliminadas com algumas ações (CARPINETTI, 2012).

Na aplicação prática o gráfico de Pareto pode ser utilizado, por exemplo, para avaliação de custos correlacionados com problemas pontuais encontrados dentro de uma empresa. Uma vez visto quais problemas são responsáveis pelos maiores custos, é possível atacar a causa raiz desse problema auxiliado por outras ferramentas da qualidade, como o diagrama causa e efeito. Demonstrando que grande parte dos problemas são provenientes de pequenas causas, e se essas causas fossem identificadas e corrigidas seria possível eliminar defeitos ou falhas.

2.2.4 Diagrama de Causa e Efeito

O diagrama causa e efeito foi desenvolvido em 1953 por Kaoru Ishikawa a fim de mostrar algumas relações de efeito que poderiam ser avaliadas e um conjunto de possíveis causas que produzem esse efeito. O diagrama é uma representação gráfica que permite facilmente a visualização e correlação entre possíveis causas e efeitos de um problema. É mostrado a relação entre características e fatores de qualidade que podem contribuir para possíveis causas do efeito avaliado. Para cada efeito, existem muitas causas dentro de categorias definidas como os 6M's. São eles: métodos, mão de obra, matérias-primas, máquinas, medição e ambiente. Através de uma lista de possíveis causas, as causas mais prováveis são identificadas e selecionadas para melhor análise (MARQUES, 2012).

Dentro dos parâmetros de uma produção, com o recurso do diagrama citado é possível correlacionar as falhas com possíveis causas, assim facilitando e direcionando o percurso a ser seguido na solução dos problemas.

2.2.5 Brainstorming

Também chamado de tempestade de ideias, esta ferramenta da qualidade consiste em reunir um grupo de pessoas para debater sobre um tema específico em um curto espaço de tempo para que todos possam opinar e propor soluções criativas para um determinado problema em questão. Ao envolver todos os membros, esse método garante a qualidade das decisões do grupo, os compromissos e as responsabilidades compartilhadas.

O objetivo desse método é chamar a atenção para os aspectos mais importantes do problema e desenvolver uma discussão para considerar o problema, soluções e melhorias de diferentes perspectivas mais amplas.

Essa ferramenta atua como um 'lubrificante' durante o processo de solução de problemas, pois pode ser difícil identificar a causa de um problema e faltar uma direção clara e possíveis soluções (DANIEL, MURBUCK, 2014)

2.2.6 5 Porquês

Essa ferramenta da qualidade foi criada por aproximadamente na década de 30 pelo então fundador das indústrias Toyota, Sakichi Toyoda.

5 Porquês é uma ferramenta da qualidade utilizada para identificar a causa raiz de um determinado problema. O método é aplicado perguntando-se o porquê de uma situação até que não haja mais respostas possíveis. Para testar se a ferramenta foi respondida corretamente faz-se o processo inverso até que chegue no problema original (AUGUSTO,2021)

Vale mencionar que diante das diversidades implicadas no dia a dia há a possibilidade da necessidade de mais do que 5 porquês ou até menos, para que se encontre a causa raiz do problema. Erroneamente é comum as pessoas tenderem a atuar no efeito do problema. Esta ferramenta serve para direcionar a tomada de ações para que as mesmas sejam pontuadas de forma eficaz e definitiva (NAPOLEÃO, 2019).

2.2.7 CEP (Controle Estatístico de Processo)

O Controle Estatístico de Processo é um conceito de qualidade que apresenta diversas ferramentas voltadas para o monitoramento e tratamento de anomalias de processo.

A capacidade do processo é a capacidade do equipamento de produzir um determinado produto que satisfaça frequentemente aos requisitos do projeto e às expectativas do cliente. O ponto central é comparar o que um processo deveria fazer, com o que realmente faz. Sendo assim, admite-se um intervalo de variação permitido ao processo como padrão e compara-se com a variação resultante do processo (KANE, 1986).

Esse intervalo forma um limite de especificação técnica. Essa pode ser bilateral ou unilateral, implicando uma forma diferente de avaliação de proficiência em cada caso. Os limites de especificação são definidos de acordo com os requisitos do cliente, enquanto os limites de ação são calculados a partir dos dados do processo e representam o desempenho real do processo (UEKANE, 2022).

Para que um processo possa ser considerado capaz, avaliando uma característica com especificação unilateral, é permitido que máximo 0,135% das peças produzidas fiquem de fora dos limites de especificação (KANE, 1986).

O índice de capacidade do processo é usado para medir o desempenho de um determinado equipamento. Portanto, é amplamente utilizado para avaliar o desempenho dos processos de fabricação e julgar o desempenho das máquinas ferramenta.

2.3 Método de Elementos Finitos (MEF)

O Método dos Elementos Finitos (MEF) é uma técnica numérica que fornece soluções aproximadas para equações diferenciais que modelam problemas que surgem na física e na engenharia. Assim como nos esquemas de diferenças finitas simples, o método dos elementos finitos requer um problema definido no espaço geométrico (ou domínio), a ser subdividido em um número finito de regiões menores, regiões estas chamadas de malhas (PEPPER, HEINRICH, 2005). Atualmente o MEF

é amplamente utilizado em diversas áreas, como projetos de estruturas, estudo de fluxo de fluidos, transferência de calor, dinâmica de sólidos e em várias outras áreas da engenharia.

A base matemática do método dos elementos finitos consiste em construir um conjunto de equações lineares, resultantes da discretização do domínio e da aplicação de princípios de energia mínima ou equilíbrio. Esse conjunto de equações é solucionado numericamente para obter uma aproximação da solução do problema em questão.

3 METODOLOGIA

A metodologia aplicada neste estudo de caso possui como finalidade descrever as etapas utilizadas neste trabalho com o objetivo reduzir o custo de refugo de uma linha de produção especializada em manufatura de engrenagens movidas de partida de motocicletas.

Para isso, foi aplicado o MASP (Método de Análise de Soluções de Problemas) que é uma poderosa ferramenta que desempenha um papel essencial na identificação, análise e resolução estruturada de problemas. O MASP é um composto de ferramentas da qualidade tais como diagrama de Ishikawa, diagrama de Pareto, análise de indicadores, 5 porquês, *brainstorming* e diversas outras ferramentas. Essa ferramenta é amplamente empregada em vários setores, como indústrias, empresas e projetos, com o objetivo de aprimorar a qualidade, a eficiência e os resultados.

Como primeiro passo foram avaliados todos os indicadores de *KPI* que antes de tudo, mostram a saúde da empresa como um todo. Como método de análise, foi realizado um comparativo entre os dados encontrados e os valores estabelecidos valores *target* pela gestão da produção da empresa. A partir do resultado desta análise, foi realizada uma classificação utilizando a matriz de prioridade GUT para identificar quais dos indicadores avaliados apresentam como resposta um resultado mais significativo financeiramente para a empresa.

Com os indicadores definidos, foi utilizado o diagrama de Pareto para analisar mais profundamente os indicadores do *KPI* e identificar quais os itens que possuíam mais relevância no resultado negativo que foi mostrado nos indicadores avaliados.

Sob posse dos dados do diagrama de Pareto, foi aplicada a ferramenta diagrama de Ishikawa para pontuar e classificar possíveis causas que resultaram no resultado negativo. Todas as prováveis causas foram classificadas nos 6M's de Ishikawa para uma melhor avaliação.

Finalizadas as avaliações, foram utilizados os 5 porquês para encontrar a causa raiz. Uma vez encontrada a causa raiz do problema, foi realizado um *brainstorming* para então propor, viabilizar e analisar as soluções propostas para o problema.

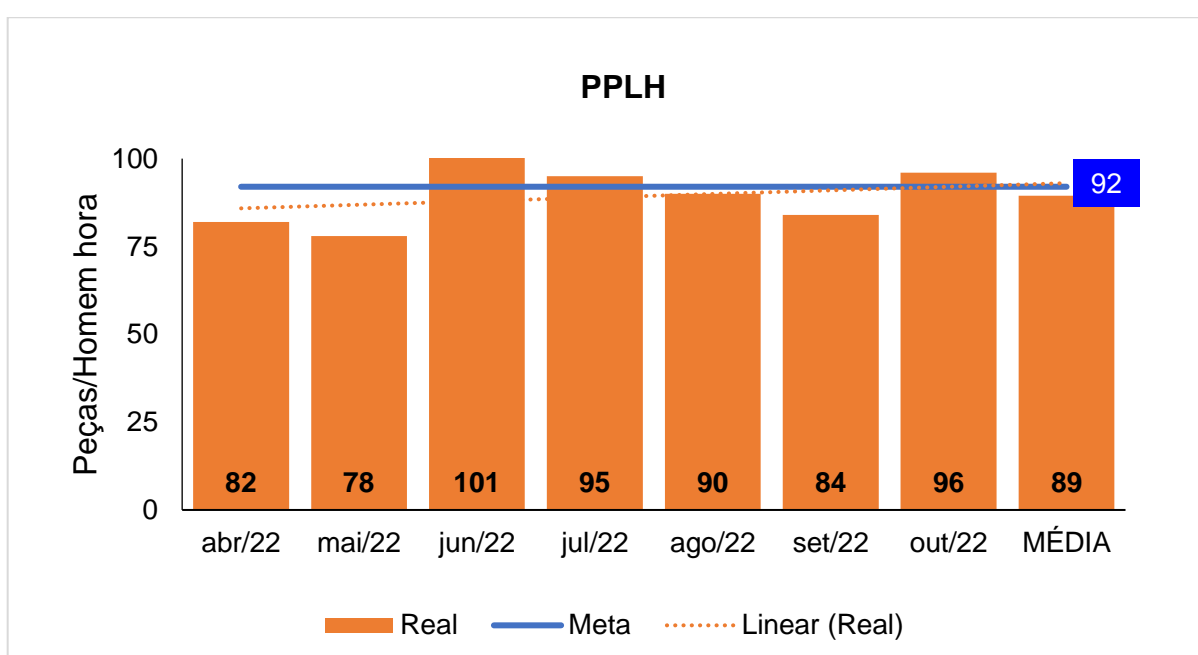
3.1 Análise de indicadores KPI (Key Performance Indicator)

Foram avaliados os indicadores de produtividade, qualidade que estão diretamente ligados às reclamações de clientes, custo, *delivery* e segurança. Para o período de amostragem foram utilizados os dados dos meses de abril/2022 à outubro/2022.

3.1.1 Produtividade

No indicador produtividade foram avaliados os números de PPLH (*Part Per Labour Hour*) que avalia a eficiência da mão de obra em uma linha de produção, calculando o número de pessoas necessárias para executar uma determinada quantidade de trabalho em uma hora. Esse indicador é utilizado como métrica para estimar se a quantidade de funcionários é suficiente para atender a demanda de produção ou se é necessário o uso de horas extras de trabalho para conclusão das atividades. Horas extras não são benéficas nem para empresa, pois representam um custo maior com produção, impactando diretamente na lucratividade e nem para os colaboradores, pois aumenta o desgaste físico e redução de qualidade de vida.

Gráfico 1 - Indicador de PPLH



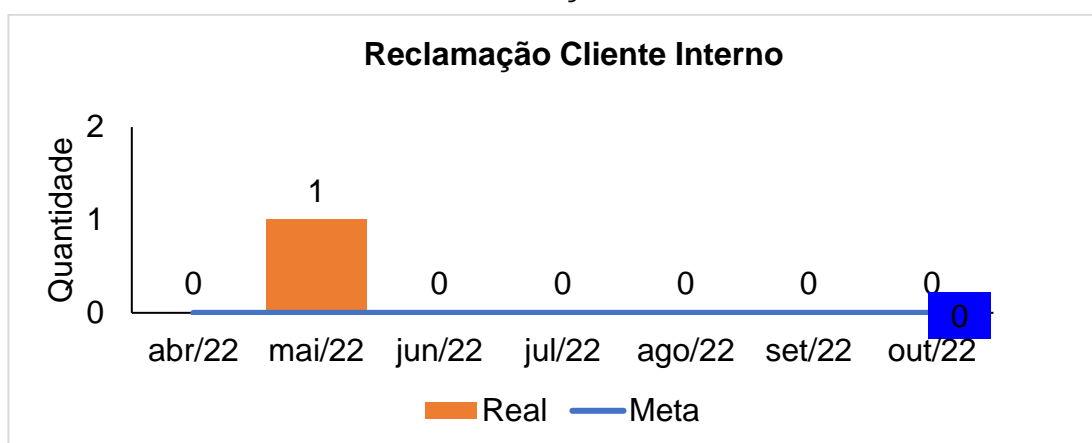
Assim como mostrado no **Gráfico 1**, exceto no mês de junho, julho e outubro todos os outros meses estiveram com a média abaixo da meta estimada pelas diretrizes da empresa.

3.1.2 Qualidade

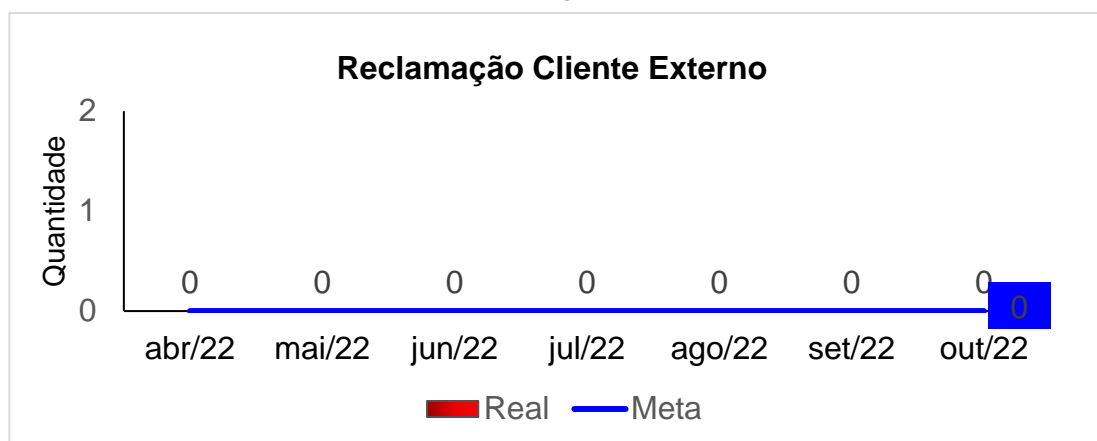
No indicador qualidade, foram avaliados os números de reclamações internas e externas por motivo de qualidade do setor. Uma reclamação ocorre quando por algum motivo adverso, alguma peça fora do especificado é produzida e enviada. Esse tipo de problema pode ocorrer tanto por falha na sistemática de segregação de produtos não conformes, como por falha nas inspeções das características do produto.

Reclamações internas são aquelas realizadas por outros setores da fábrica que recebem a peça para realizar operações posteriores, já reclamações externas são aquelas realizadas pelo cliente final, que por algum motivo recebeu o produto com alguma característica divergente da solicitada no desenho do produto.

Gráfico 2 - Reclamação Cliente Interno



Fonte: Autor, 2022.

Gráfico 3 - Reclamação Cliente Externo

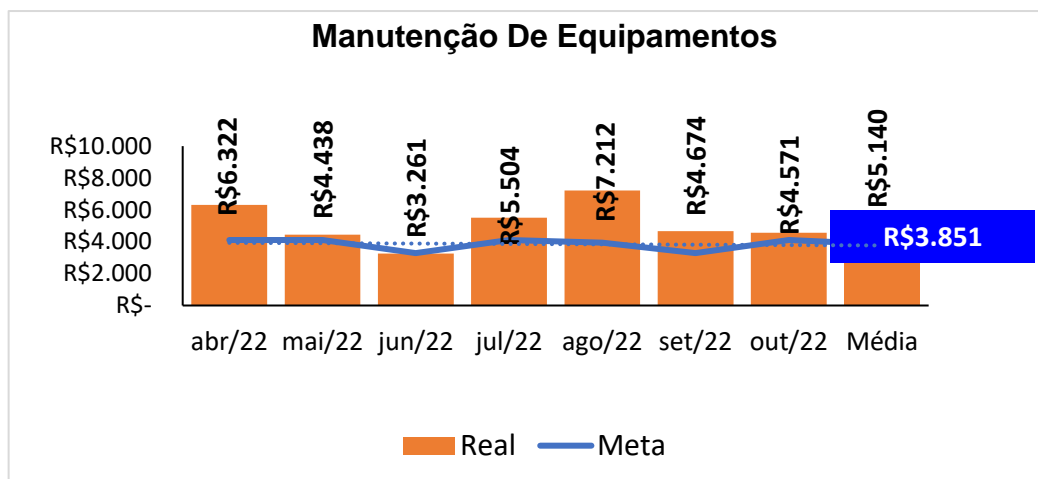
Fonte: Autor, 2022.

Foi verificado que no mês de maio houve reclamação realizada por clientes internos, aqueles que recebem o produto para continuar o fluxo de manufatura da peça. Isto indica que é necessário atenção na sistemática de segregação de peças dentro dos setores de produção.

3.1.3 Custo

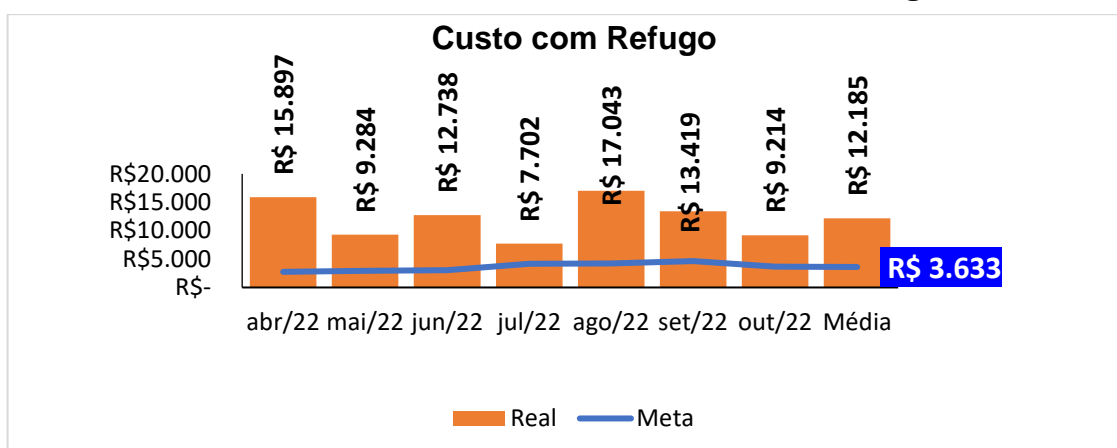
No indicador custo, foram avaliados os quantitativos de custos do setor com manutenção de equipamentos, aquisição de ferramentas de insumos e por produção de peças com refugo durante o processo. Esse indicador impacta diretamente na lucratividade da empresa, pois quão maior é o custo para produção de um determinado produto, menor é a margem de lucro sobre o mesmo. Caso os custos necessários para produção estiverem acima do planejado, a margem de lucro da empresa com a venda do produto para o cliente é reduzida.

Gráfico 4 - Custo com Manutenção de Equipamentos



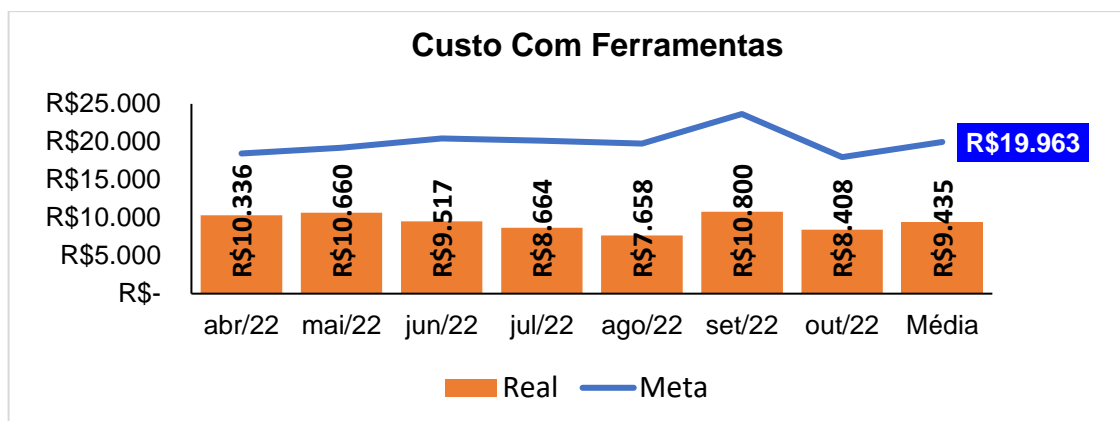
Fonte: Autor, 2022.

Gráfico 5 - Custo com Processamento de Refugo



Fonte: Autor, 2022.

Gráfico 6 - Custo com Ferramentas



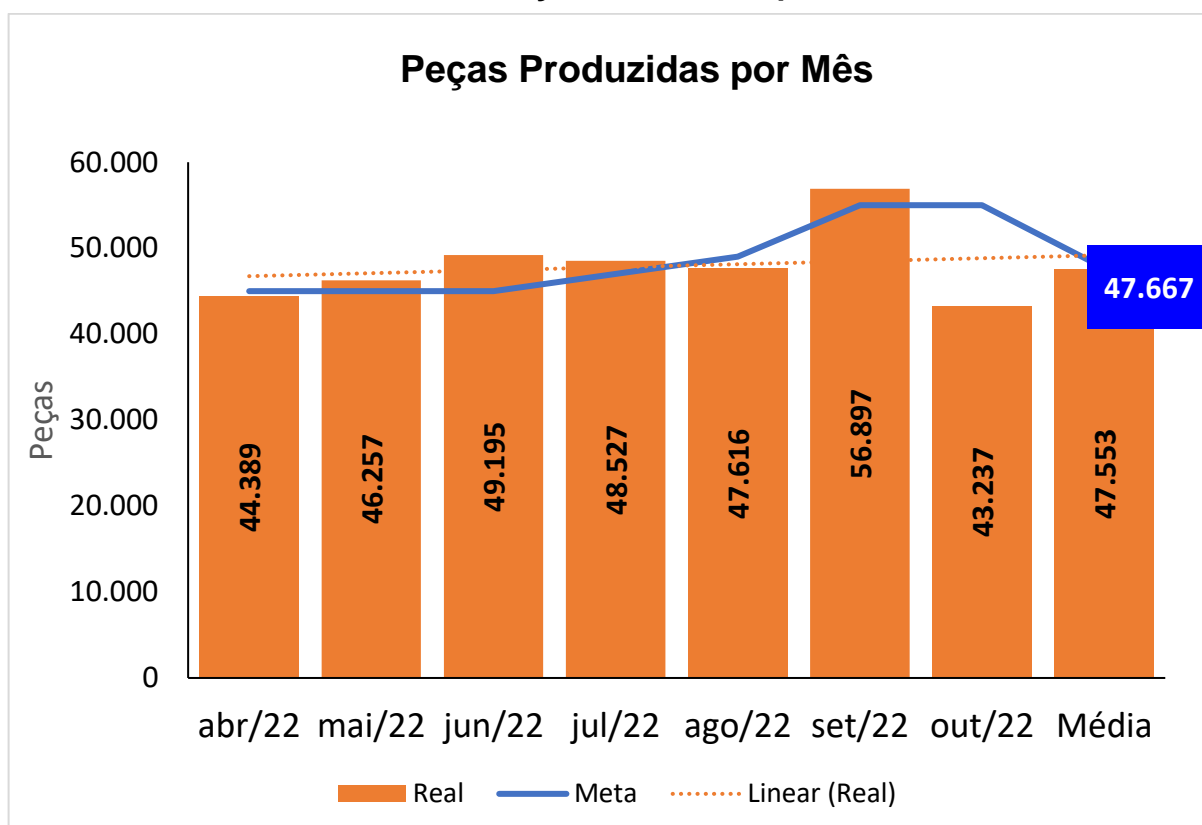
Fonte: Autor, 2022.

Os indicadores de *KPI mostraram* que o setor de produção apresentava um custo acima da meta estipulada mensal com custo de manutenção de equipamentos e refugo de peças, assim como mostrado no **Gráfico 4**. Na avaliação dos custos com ferramentas, não foram encontrados problemas, visto que o valor gasto com este item se encontra dentro da meta estipulada pela empresa, como mostra o **Gráfico 6**.

3.1.4 Delivery

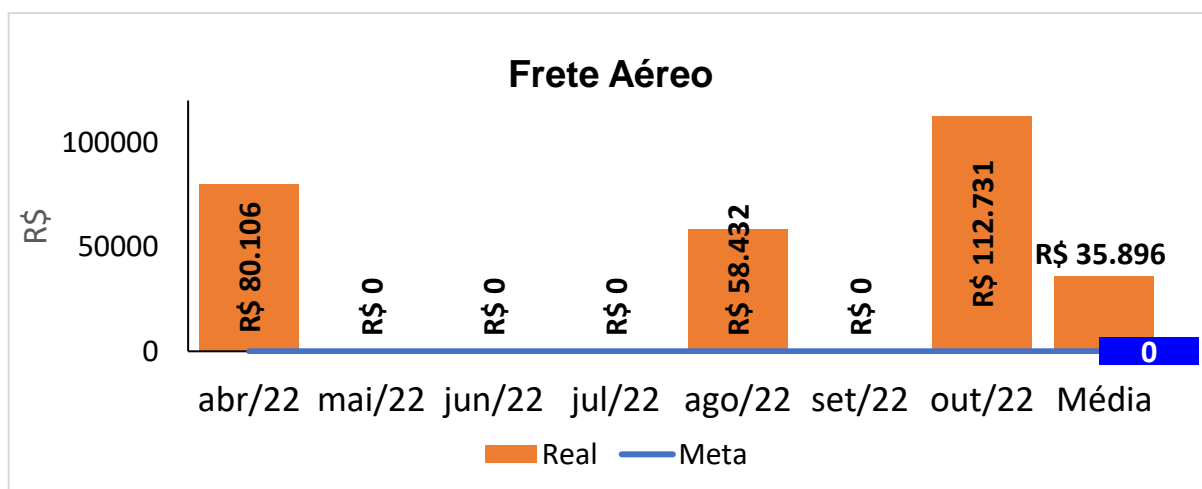
No indicador delivery, foram avaliados os números de peças produzidas no setor durante o mês e se houve ou não necessidade de envio de peças por meio de entrega aérea. Esse indicador nos mostra se os equipamentos e colaboradores estão trabalhando de forma eficiente e se há ou não resultado negativo para a empresa quanto aos números de produção.

Gráfico 7 - Peças Produzidas por Mês



Fonte: Autor, 2022.

Gráfico 8 - Custo com Frete Aéreo



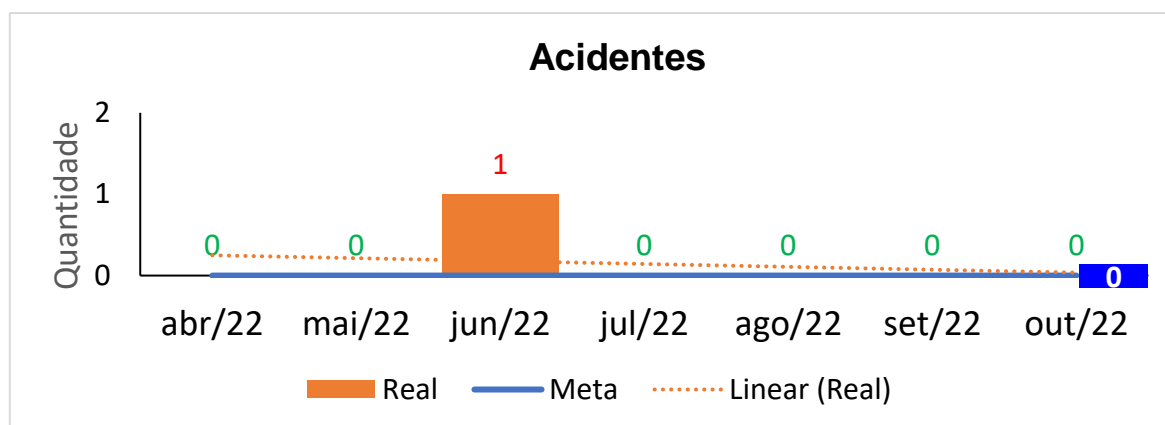
Fonte: Autor, 2022.

Como visto no **Gráfico 7**, o valor médio de número de peças produzidas se encontra abaixo do necessário para atendimento do pedido do cliente final. Também foi verificado no **Gráfico 8** que devido ao não atendimento do número de peças, há um custo adicional com o envio de peças por meio aéreo que representa uma baixa na margem de lucro da peça, visto que o envio de peças por meio aéreo apresenta um custo mais elevado em relação ao meio de transporte tradicional que é o rodoviário.

3.1.5 Segurança

No indicador segurança, foi avaliado se houve registro de acidentes de trabalho com os colaboradores, ou se houve registro de alguma atividade que pusessem em risco a saúde dos mesmos. Esse indicador deve ser sempre tratado com o máximo de atenção possível, pois é ele que rege o quão seguro o ambiente de trabalho é para os colaboradores.

Gráfico 9 - Acidentes



Fonte: Autor, 2022.

Como visto no **Gráfico 9**, houve um registro de acidente no mês de junho/2022. Esse dado nos mostra que é necessário atenção do setor responsável pela segurança do trabalho para que situações de risco para os colaboradores não ocorram novamente.

3.2 Matriz GUT

Após avaliação de todos os indicadores listados no item 3.1, foi aplicada a ferramenta da matriz GUT, que é uma ferramenta de priorização utilizada para tomar decisões em situações complexas. Com essa ferramenta foi possível avaliar e classificar problemas ou situações com base em sua gravidade, urgência e tendência. Como critério para as pontuações, foram atribuídas as maiores pontuações nos itens que apresentavam maiores riscos para o cliente. Na gravidade, foi avaliado o impacto e consequências do problema tanto para a empresa, quanto para o cliente. Na urgência, foi avaliado a necessidade de resolução do problema com velocidade. Quanto maior a necessidade de ação, maior a pontuação atribuída. Na tendência, foi avaliado a probabilidade de piora do problema. Quanto maior a probabilidade de piora, maior a pontuação atribuída.

Foram atribuídas pontuações de 1 à 5, sendo 1 a condição mais confortável e 5 a condição mais crítica. Uma vez atribuídas as pontuações, foram calculados os produtos das notas pontuadas. Uma vez atribuídas as notas, todos os indicadores foram postos em uma matriz de prioridade para avaliação do que apresentava

necessidade de ação com mais urgência. E então, foi visualizado em qual indicador as ações seriam tomadas com maior prioridade.

3.2.1 Avaliação do Indicador Produtividade

Na avaliação para pontuação da matriz de decisão do indicador produtividade, **Tabela 1**, foi atribuída a nota 4 para a gravidade, visto que a baixa eficiência dos colaboradores impacta na *performance* financeira da empresa, foi atribuída a nota 3 para a urgência, pois foi informado pela gerência de produção que ações já estavam em andamento para melhora do indicador. Para tendência, foi pontuado 2, visto que de acordo com a linha de tendência no Gráfico 1 é possível identificar um aumento no índice de *PPLH* com o passar dos meses.

Tabela 1 - Matriz Decisão - PPLH

Matriz de Decisão - PPLH			
Gravidade	Urgência	Tendência	Índice de Prioridade
3	3	2	18

Fonte: Autor, 2022.

3.2.2 Avaliação do Indicador Qualidade

Na avaliação para pontuação da matriz de decisão do indicador qualidade, **Tabela 2**, foi atribuída a nota 3 para a gravidade, visto que reclamações indicam alguma falha dentro da sistemática do processo produtivo, foi atribuída a nota 1 para urgência, pois como visto em Gráfico 2 e Gráfico 3, foi apenas uma única reclamação que indica que as ações para correção das falhas foram tomadas e foi atribuída nota 1 para tendência, já que como visto nos gráficos citados anteriormente, não foi mostrado indícios de pioras dos resultados com o passar dos meses.

Tabela 2 - Matriz Decisão - Reclamação Cliente Interno

Matriz de Decisão – Reclamação Cliente Interno/Externo			
Gravidade	Urgência	Tendência	Índice de Prioridade
3	1	1	3

Fonte: Autor, 2022.

3.2.3 Avaliação do Indicador Custo

Na avaliação para pontuação da matriz de decisão do indicador custo foram avaliados apenas os itens custo com manutenção de equipamentos e custo com refugo de peças.

Quando avaliado o custo com manutenção de equipamento, **Tabela 3**, foi atribuída a nota 5 para a gravidade, visto que custo com manutenção corretiva que não está previsto em orçamento, representa um grande impacto financeiro. Para urgência, foi atribuída a nota 2, pois o setor responsável informou que já havia um plano de intervenção, o qual avaliou todos os equipamentos da linha e faria a substituição dos itens necessários. Para tendência foi atribuída a nota 3, pois o gráfico não apresentava tendência de melhora.

Tabela 3 - Matriz Decisão - Custo Manutenção de Equipamentos

Matriz de Decisão – Custo Manutenção de Equipamentos			
Gravidade	Urgência	Tendência	Índice de Prioridade
5	2	3	30

Fonte: Autor, 2022.

Quando avaliado o custo das peças em refugo, **Tabela 4**, foi atribuída a nota 5 para gravidade pois apresenta um considerável impacto financeiro para a empresa. Para urgência, foi atribuída a nota 5, visto que a produção de peças fora do especificado sempre é um grande problema devido ao risco de envio para o cliente. Para tendência, foi atribuída nota 4, visto que com o passar dos meses os gráficos não mostraram tendência de melhora desse indicador.

Tabela 4 - Matriz de Decisão – Custo com Refugo de Peças

Matriz de Decisão – Custo com Refugo de Peças			
Gravidade	Urgência	Tendência	Índice de Prioridade
5	5	4	100

Fonte: Autor, 2022.

3.2.4 Avaliação do Indicador Delivery

Para pontuação da matriz de decisão do indicador *delivery* os dados de custo com frete aéreo e peças produzidas foram avaliados em conjunto na mesma matriz de decisão, visto que são indicadores correlacionados.

Na avaliação do indicador *delivery*, **Tabela 5**, foi atribuída a nota 5 para gravidade, visto que o número de peças produzidas abaixo da meta representa um custo extra com horas extras e envio de peças pelo meio aéreo, o que representa um custo muito superior ao previsto e impacta financeiramente nos números da empresa. Para urgência foi atribuída a nota 2, pois o setor responsável informou melhorias no processo produtivo já estavam em andamento para aumentar a eficiência da linha e consequentemente aumentar o número de peças produzidas. Para tendência foi atribuída a nota 3, já que como visto nos gráficos Gráfico 7 e Gráfico 8, há uma leve tendência de melhora nos indicadores.

Tabela 5 - Matriz de Decisão – Delivery

Matriz de Decisão – Delivery			
Gravidade	Urgência	Tendência	Índice de Prioridade
5	2	3	30

Fonte: Autor, 2022.

3.2.5 Avaliação do Indicador Segurança

Na avaliação para pontuação da matriz de decisão do indicador segurança, **Tabela 6**, foi atribuída a nota 5 para gravidade, visto que condições de risco devem ser ao máximo evitadas dentro do ambiente de trabalho. Para urgência foi atribuída a nota 2, visto que as ações para eliminar a causa raiz e evitar reincidência foram tomadas pelo setor de segurança do trabalho. Para tendência foi atribuída a nota 1, visto que de acordo com o Gráfico 9, não houve tendência de piora no número de

acidentes e este dado é um indicador de que a ação tomada atingiu a causa raiz do problema e o mesmo foi sanado.

Tabela 6 - Matriz de Decisão - Segurança

Matriz de Decisão - Segurança			
Gravidade	Urgência	Tendência	Índice de Prioridade
5	2	1	10

Fonte: Autor, 2022.

3.2.6 Definição do Indicador a Ser Trabalhado

Após avaliação individual dos indicadores utilizando o critério de pontuação da matriz GUT, todos os índices de prioridade foram calculados e organizados na **Tabela 7** para melhor visualização do indicador mais crítico. Com os dados organizados, foi possível identificar que o custo com refugo de peças era o item mais crítico e precisava de ação imediata.

Tabela 7 - Matriz De Decisão – Índice Geral De Prioridade

Matriz De Decisão – Índice Geral De Prioridade				
GUT	GRAVIDADE	URGÊNCIA	TENDÊNCIA	ÍNDICE PRIORIDADE
PPLH	3	3	2	18
RECLAMAÇÃO	3	1	1	3
MANUTENÇÃO	5	2	3	30
REFUGO	5	5	4	100
DELIVERY	5	2	3	30
SEGURANÇA	5	2	1	10

Fonte: Autor, 2022.

3.3 Diagrama de Pareto

Com base no indicador pontuado com maior índice de prioridade estabelecido pela matriz GUT, foi utilizada a base de dados do sistema integrado de gestão empresarial, SAP (*System Analysis Program Development*), para aplicar a ferramenta

de Pareto e desenvolver um gráfico responsável por mostrar os pontos que possuem maior influência negativa no item avaliado. Para isso, foram avaliados os dados de todos os modelos de motocicletas produzidos na linha de produção, **Tabela 8**, para identificar quais modelos apresentavam maior custo com refugo.

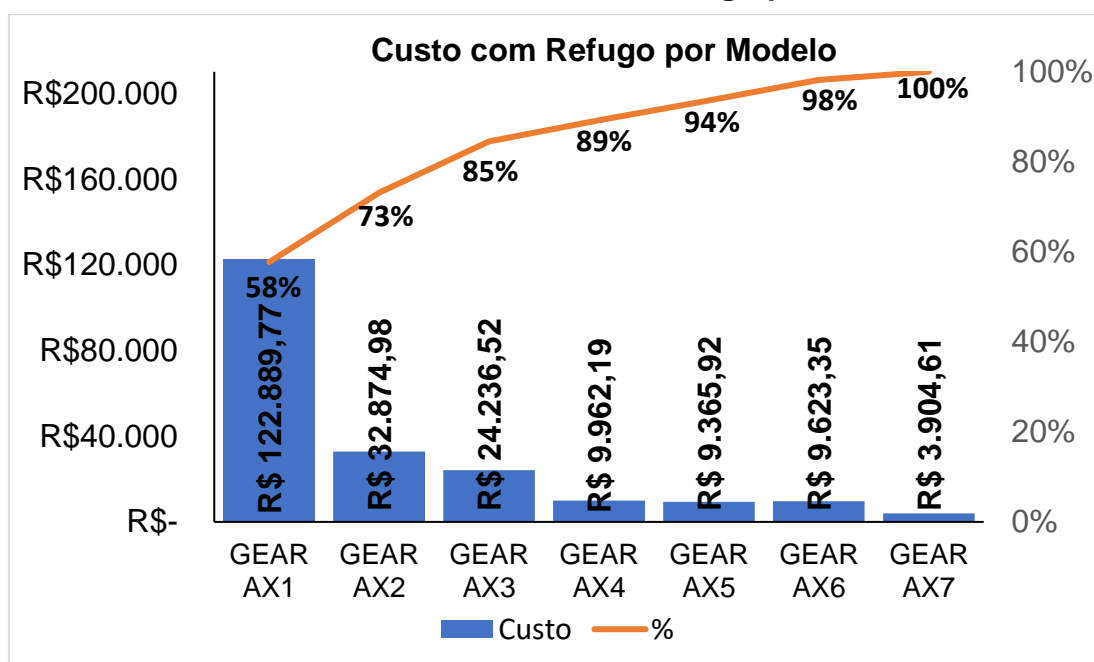
Tabela 8 - Custo com Refugo

CUSTO COM REFUGO	
ABRIL/2022 – OUTUBRO/2022	
MODELO	VALOR (R\$)
GEAR – AX1	R\$ 122.889,77
GEAR – AX2	R\$ 3.2874,98
GEAR – AX3	R\$ 2.4236,52
GEAR – AX4	R\$ 9.962,17
GEAR – AX5	R\$ 9.365,92
GEAR – AX6	R\$ 9.623,35
GEAR – AX7	R\$ 3.904,31

Fonte: Autor, 2022.

Após todos os dados de custo com refugo de todos os modelos organizados em uma tabela para maior visualização, foi utilizado Pareto para compilar todas as informações em um único gráfico, a fim de pontuar quais modelos apresentavam maior custo.

Gráfico 10 - Custo com Refugo por Modelo



Fonte: Autor, 2022.

O gráfico de Pareto mostrou que 58% do custo total com refugo estava atribuído a apenas um modelo de engrenagem. Logo, para maior impacto no retorno dos resultados, foi necessária uma melhor avaliação do item. Para tal, foi utilizada novamente a base de dados do SAP, **Tabela 9**, para consultar quais os refugos com maior custo atribuído ao modelo.

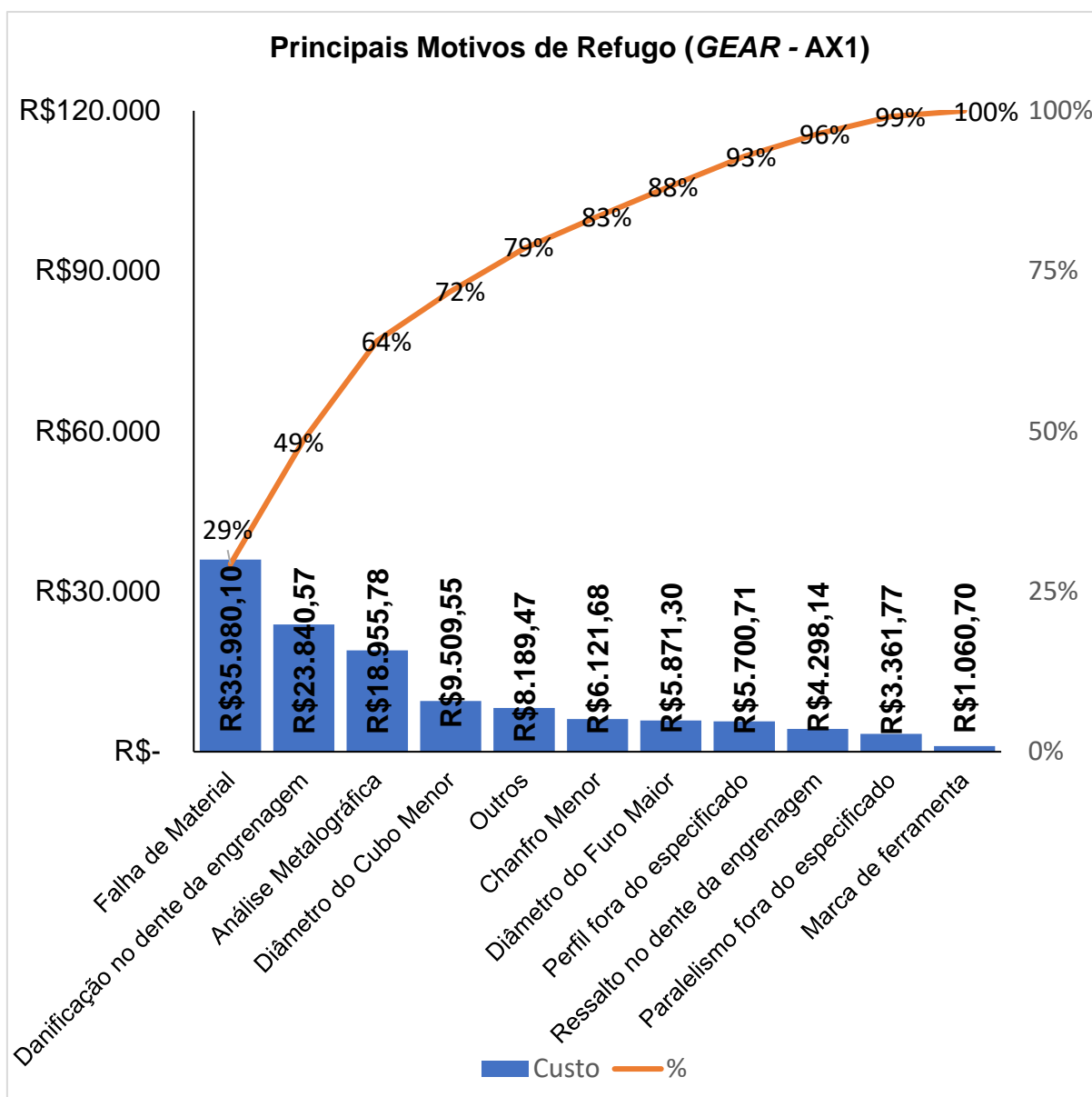
Tabela 9 - Custo com Refugo (Gear - AX1)

CUSTO COM REFUGO (GEAR - AX1) ABRIL/2022 – OUTUBRO/2022	
MOTIVO	VALOR (R\$)
FALHA DE MATERIAL DIÂMETROS DE FURO E CUBO	R\$ 35.980,10
DANIFICAÇÃO NO DENTE DA ENGRENAGEM	R\$ 23.840,57
ANÁLISE METALOGRAFICA	R\$ 18.955,78
DIÂMETRO DO CUBO MENOR	R\$ 9.509,55
OUTROS	R\$ 8.189,47
COMPRIMENTO DO CHANFRO MENOR	R\$ 6.121,68
DIÂMETRO DO FURO MAIOR	R\$ 5.871,30
PERFIL FORA DO ESPECIFICADO	R\$ 5.700,71
RESSALTO NO DENTE DA ENGRENAGEM	R\$ 4.298,14
PARALELISMO FORA DO ESPECIFICADO	R\$ 3.361,77
MARCA DE FERRAMENTA	R\$ 1.060,70

Fonte: Autor, 2022.

Após a análise dos dados de custo de refugo identificados por motivos, foi utilizado o diagrama de Pareto novamente para compilar as informações fornecidas na **Tabela 9** em um gráfico e visualizar quais motivos apresentaram maior impacto financeiro negativo para a empresa.

Gráfico 11 - Principais Motivos de Refugo (Gear - AX1)



Fonte: Autor, 2022.

O gráfico mostrou que os três maiores motivos de custo de refugo na linha de produção são: falha de material, danificação no dente da engrenagem e análise metalográfica. Juntos, os três motivos representaram 64% de todo o custo com refugo do setor. Falha de material é o maior motivo, pois representou 29% de todo o custo e um montante equivalente de R\$35.980,10 reais.

Utilizando os conceitos do diagrama de Pareto, foi necessário atuar no motivo de falha de material, para que se obtenha redução mais significativa no custo com refugo na linha de produção.

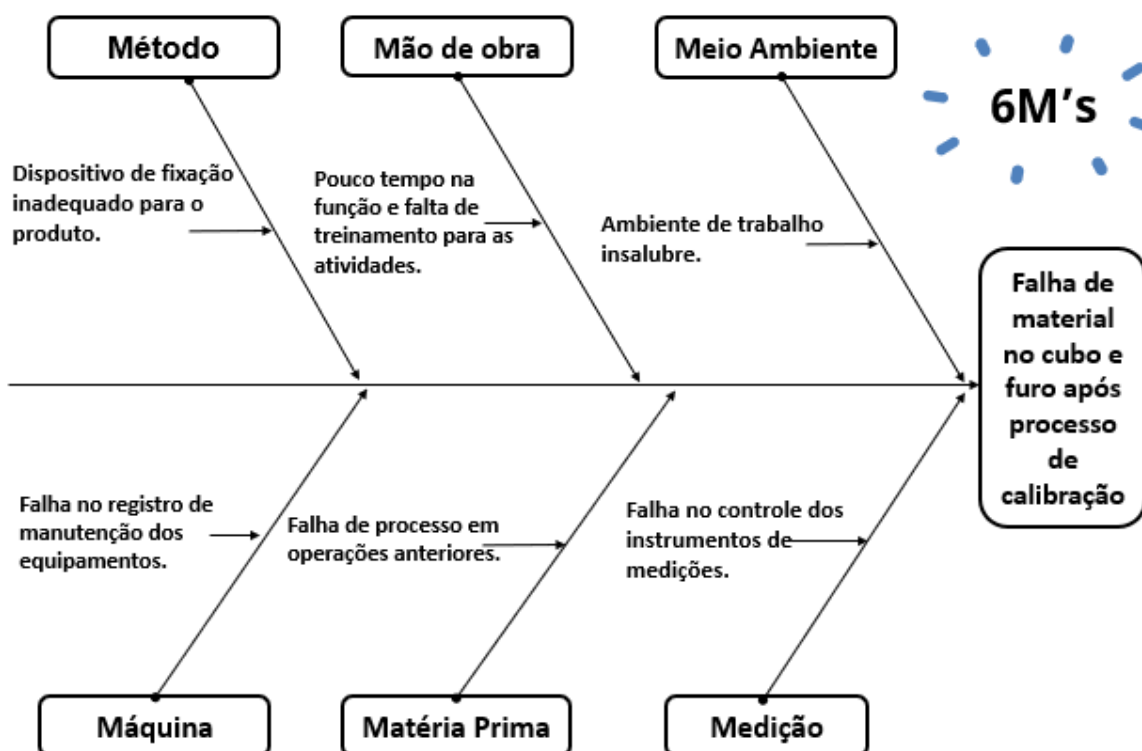
3.4 Diagrama Causa e Efeito

Utilizando os dados do sistema *SAP*, foi identificado que o registo das peças sucateadas era realizado após a operação de calibração dos diâmetros do furo e do cubo. Uma vez identificado em qual parte do fluxo de manufatura estava sendo apontado o problema, foi desenvolvido junto com uma equipe multifuncional um diagrama de causa e efeito, também chamado de diagrama de Ishikawa, e pontuado os prováveis fatores responsáveis pela ocorrência do problema.

Para elaborar o diagrama de causa de efeito, foi realizado um *brainstorming* no qual a equipe multifuncional pontuou possíveis motivos e os organizou de acordo com os 6 M's indicados por Ishikawa. No item máquina, foi pontuado possível falha no registo das fichas de manutenção do equipamento. No item mão de obra, foi pontuado a possibilidade do colaborador ser recém chegado no setor e não possuir conhecimento adequado para as atividades do setor. No item meio ambiente, foi pontuado a possibilidade do ambiente ser insalubre para o colaborador fazendo com que suas atividades fossem dificultadas. No item método, foi pontuado a possibilidade de os dispositivos de fixação utilizados para a fixação do produto durante usinagem estarem em condições inadequadas devido ao desgaste, fazendo com que o problema ocorresse. No item matéria prima, foi pontuada a possibilidade de o produto vir com falha de operações anteriores e só revelar os problemas após a operação de calibração dos diâmetros de cubo e furo. No item medição, foi avaliado a possibilidade de haver falha na calibração dos instrumentos de medição, fazendo com que o colaborador tivesse uma leitura incorreta da característica checada.

Após pontuado todos os itens do diagrama, o mesmo foi montado, Figura 5, para melhor visualização afim de facilitar a interpretação dos itens.

Figura 5 - Diagrama Causa e Efeito



Fonte: Autor, 2022.

Desenvolvido o diagrama, foi verificado junto com todas as áreas responsáveis as prováveis causas apontadas.

A manutenção, setor responsável pelos equipamentos informou que todos os registros foram realizados corretamente e todas as máquinas estavam funcionando perfeitamente de acordo com as informações do manual de funcionamento.

Os recursos humanos, setor responsável por coordenar os treinamentos de todos os colaboradores da empresa informou que todos os colaboradores estavam devidamente capacitados e instruídos para realizarem as atividades do setor.

A segurança do trabalho, setor responsável por garantir o bem estar no local de trabalho informou que todas as áreas da fábrica estavam de acordo com as especificações da NR17, norma regulamentadora de ambientes laborais e ergonomia.

A engenharia de qualidade, setor responsável pelo sistema de medição, informou que todos os instrumentos de inspeção estavam devidamente inspecionados, calibrados e funcionando de acordo com manual do fabricante.

Para avaliação do método, foi verificado se as condições do dispositivo de fixação estavam de acordo com os requisitos do projeto original fornecido pela

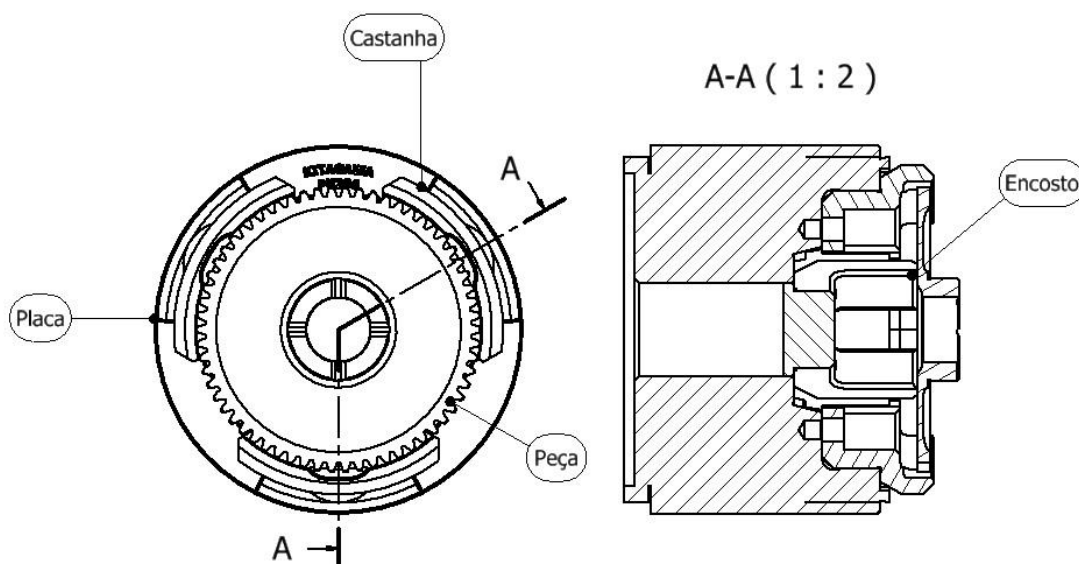
engenharia. Realizada a avaliação, foi visto que todos os dispositivos estavam de acordo com o projeto fornecido.

Uma vez avaliados os itens de máquina, mão de obra, método, medição e meio ambiente restou apenas matéria-prima. Como todos os itens estavam de acordo com as especificações de projetos, normas e manuais de fabricante, foi definido realizar inspeções na peça antes do processo de calibração para avaliar se a mesma se encontrava de acordo com as especificações de processo definidas pela engenharia.

3.5 Avaliação da Matéria Prima

Como falado no tópico anterior, foi necessário realizar medições no produto antes do processo de calibração, para verificar se o mesmo estava de acordo com as especificações necessárias. Para a definição de quais características seriam inspecionadas, foi avaliado o sistema de fixação da operação de calibração de furo e cubo, **Figura 6**, para identificar quais pontos poderiam influenciar negativamente no resultado final da peça calibrada.

Figura 6 - Fixação GEAR AX1 - Operação Calibração



Fonte: Autor, 2022.

Como mostrado na **Figura 6**, a peça possui fixação pelo diâmetro externo para que o cubo e furo possam ser usinados. Logo, foi verificado que para garantia de uma usinagem eficaz, é necessário que as regiões do cubo e do furo possuam o mesmo

centro que a região do diâmetro externo, caso contrário, haverá uma maior remoção de material em um lado da peça do que em outro.

Após análise do projeto de fixação, foi avaliado o fluxo de manufatura do produto, **Figura 7**, para identificar em quais operações eram definidas as regiões inspecionadas.

Figura 7 - Fluxo de Manufatura do Produto

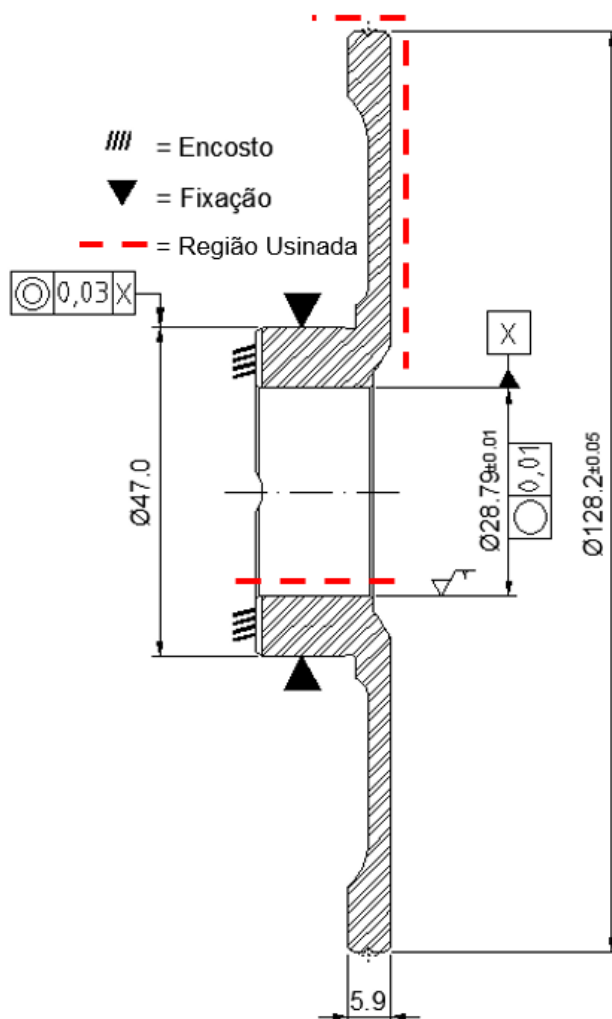


Fonte: Autor, 2022.

Após avaliação, foi identificado que as últimas operações de transformação das regiões dos diâmetros de cubo, furo e de diâmetro externo eram respectivamente torneiar e fresar dentes. Identificado em quais operações as regiões eram transformadas, foram avaliadas as instruções de serviço de manufatura do produto para verificar quais características impactavam no resultado da medição realizada.

Na instrução de serviço da operação de torneiar, **Figura 8**, foi verificado que a peça é fixada pelo diâmetro do cubo e os diâmetros externo e furo são usinados. Como as regiões possuem a mesma referência de fixação, ambas são concêntricas com o diâmetro do cubo.

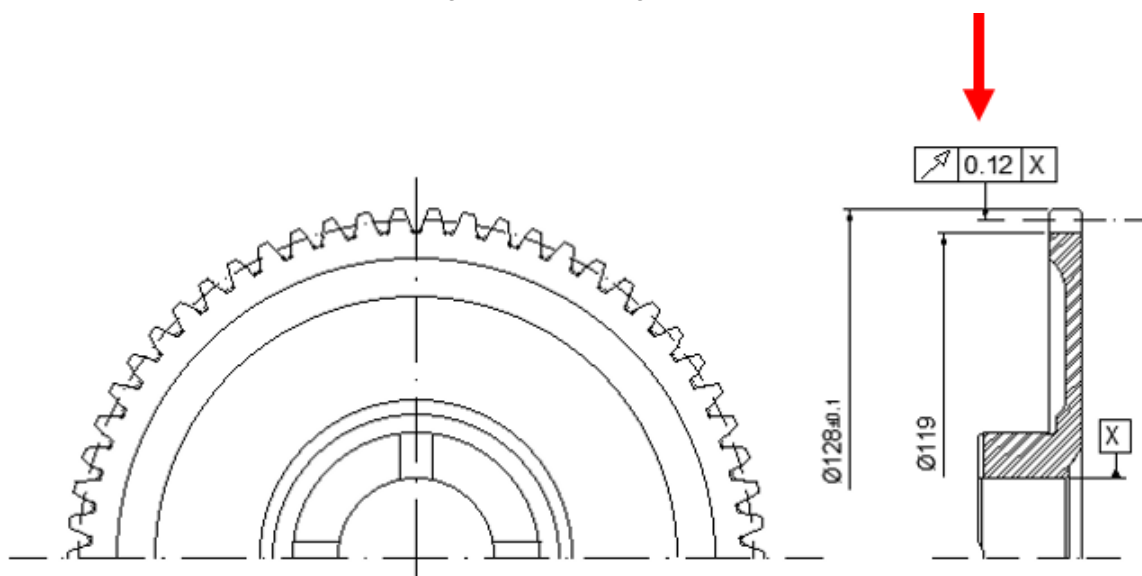
Figura 8 - Instrução de Serviço Op. Torneiar



Fonte: Autor, 2022.

Na instrução de serviço da operação de fresar dentes, foi verificado que a referência de fixação da peça é o diâmetro do furo. Na instrução é permitido um desvio máximo de batimento do diâmetro primitivo da engrenagem em relação ao furo na ordem de 0,12 mm. Também é mostrado na **Figura 9** que embora pouco usual, o diâmetro externo da engrenagem também é usinado. Essa operação é possível devido ao uso de uma ferramenta Hob especial. Por correlação, como na operação de fresar dentes o diâmetro externo é usinado com referência de fixação no diâmetro do furo e na operação de torneamento o furo é usinado com referência no diâmetro do cubo, todas as três regiões são concêntricas. Logo, para inspeção das peças antes da operação de calibração, foi definido como valor de referência o valor do batimento indicado na operação de fresar dentes.

Figura 9 - Instrução de Serviço Op. Fresar Dentes



Fonte: Autor, 2022.

Uma vez definido o valor de referência, foram realizadas medições para verificar o valor da concentricidade entre as regiões citadas. Para essa análise, foi utilizado uma máquina de medição por coordenadas, tridimensional, com o qual é possível medir individualmente as regiões, traçar centros de referência teórica e calcular a distância entre eles. Para medição, foram seguidos os procedimentos internos que indicam a seleção de 30 peças de forma aleatória. Todas as peças foram limpas e inspecionadas em uma sala fechada com ambiente controlado e temperatura a 20°C. Após seleção, as peças foram devidamente identificadas e então, inspecionados primeiro o diâmetro externo que é a referência para fixação, inspecionados cubo e furo e então calculado o valor da distância entre os centros encontrados. Após encontrados os valores de concentricidade, os dados foram comparados com o valor do batimento radial especificado na folha de serviço da operação de fresar dentes. Tal comparação só foi possível porque todas as regiões estão correlacionadas.

Tabela 10 - Medição da Concentricidade

CONCENTRICIDADE DO DIÂMETRO EXTERNO EM RELAÇÃO AO CUBO E FURO					
Número da Peça	Valor Encontrado	Valor de Referência	Número da Peça	Valor Encontrado	Valor de Referência
Peça 01	0,062 mm	0,120 mm	Peça 16	0,173 mm	0,120 mm
Peça 02	0,108 mm	0,120 mm	Peça 17	0,194 mm	0,120 mm
Peça 03	0,164 mm	0,120 mm	Peça 18	0,119 mm	0,120 mm
Peça 04	0,075 mm	0,120 mm	Peça 19	0,088 mm	0,120 mm
Peça 05	0,051 mm	0,120 mm	Peça 20	0,062 mm	0,120 mm
Peça 06	0,093 mm	0,120 mm	Peça 21	0,173 mm	0,120 mm
Peça 07	0,136 mm	0,120 mm	Peça 22	0,187 mm	0,120 mm
Peça 08	0,112 mm	0,120 mm	Peça 23	0,068 mm	0,120 mm
Peça 09	0,152 mm	0,120 mm	Peça 24	0,156 mm	0,120 mm
Peça 10	0,107 mm	0,120 mm	Peça 25	0,199 mm	0,120 mm
Peça 11	0,079 mm	0,120 mm	Peça 26	0,072 mm	0,120 mm
Peça 12	0,061 mm	0,120 mm	Peça 27	0,143 mm	0,120 mm
Peça 13	0,203 mm	0,120 mm	Peça 28	0,054 mm	0,120 mm
Peça 14	0,035 mm	0,120 mm	Peça 29	0,144 mm	0,120 mm
Peça 15	0,046 mm	0,120 mm	Peça 30	0,067 mm	0,120 mm

Fonte: Autor, 2022.

Como visto na **Tabela 10**, de um universo de 30 peças, em 11 foram encontradas acima da especificação. Em número percentuais, um total de aproximadamente 36,6% da amostra avaliada apresenta remoção de material de forma desigual durante a usinagem. Como as peças encontram-se com centros distintos, no momento da usinagem determinados pontos da peça terão mais material removido do que outros. Isso justifica a falha de material em um percentual das peças após a operação de calibração de furo e cubo.

3.6 5 Porquês

A equipe multifuncional se reuniu para trabalhar utilizando a ferramenta dos 5 porquês. Para isso, foi identificado o problema que estava ocorrendo e os

questionamentos partiram a partir do ponto identificado. Como citado no decorrer da metodologia, o problema em questão é a falha de material nos diâmetros do cubo e do furo após o processo de calibração.

O primeiro questionamento foi: Por que ocorre falha de material nos diâmetros do cubo e do furo? Como mostrado no tópico anterior, a falha de material ocorre devido à distribuição de sobremetal de maneira não uniforme nas regiões de cubo e furo. Essa má distribuição de sobremetal ocorre devido a excentricidade das regiões de furo e cubo em relação ao diâmetro externo estarem acima do especificado. Tal efeito faz com que a peça gire de forma não uniforme durante a usinagem e seja removido mais material em uma área do que em outra.

O segundo questionamento foi: Por que as peças estão com as regiões do cubo e furo excêntricos em relação ao diâmetro externo? Como pôde ser observado na **Figura 7**, a última operação que apresenta impacto na operação de calibração de furo e cubo é a operação de fresar dentes. Logo, os valores encontrados na **Tabela 10** indicam que um percentual das peças produzidas na operação de fresar dentes encontram-se fora do especificado.

O terceiro questionamento foi: Por que as peças estão sendo produzidas na operação de fresar dentes com a excentricidade acima do especificado? Para responder esta pergunta, foi primeiro avaliado as condições de equipamento e dispositivo de fixação da peça na operação em questão para confirmar se ambos estavam de acordo com manual do fabricante e projeto da engenharia, respectivamente. Uma vez avaliado os itens, foi verificado que ambos estavam de acordo com as especificações necessárias. Por critério de eliminação, como os itens anteriores estavam de acordo, foi realizada uma avaliação na peça antes da operação de fresar dentes. Como mostrado na **Figura 7**, a operação anterior a fresar dentes é tornear. É na operação de tornear em que o diâmetro do furo da peça é definido. Como a referência para fixação da operação de fresar dentes é diâmetro do furo assim indicado no Datum X, **Figura 9**, foi percebido que variações nesta especificação poderiam ocasionar uma folga entre a peça e o dispositivo de fixação da operação de fresar dentes e conseqüentemente, a fabricação de peças com excentricidade acima do especificado. Foram realizadas medições do diâmetro do furo em 30 peças do fluxo de produção para avaliar como essa característica estava se comportando. Como método de medição, foi utilizado uma máquina de medição por coordenadas,

tridimensional, com incerteza calculada de mais ou menos 2 micrometros para garantir máxima repetibilidade na medição.

Tabela 11 - Diâmetro do Furo Op. Tornear

Diâmetro do Furo Op. Tornear					
Número da Peça	Valor Encontrado	Valor de Referência	Número da Peça	Valor Encontrado	Valor de Referência
Peça 01	Ø28,862	Ø28,79±0,01	Peça 16	Ø28,864	Ø28,79±0,01
Peça 02	Ø28,866	Ø28,79±0,01	Peça 17	Ø28,857	Ø28,79±0,01
Peça 03	Ø28,861	Ø28,79±0,01	Peça 18	Ø28,861	Ø28,79±0,01
Peça 04	Ø28,859	Ø28,79±0,01	Peça 19	Ø28,855	Ø28,79±0,01
Peça 05	Ø28,857	Ø28,79±0,01	Peça 20	Ø28,859	Ø28,79±0,01
Peça 06	Ø28,856	Ø28,79±0,01	Peça 21	Ø28,863	Ø28,79±0,01
Peça 07	Ø28,850	Ø28,79±0,01	Peça 22	Ø28,865	Ø28,79±0,01
Peça 08	Ø28,867	Ø28,79±0,01	Peça 23	Ø28,858	Ø28,79±0,01
Peça 09	Ø28,869	Ø28,79±0,01	Peça 24	Ø28,859	Ø28,79±0,01
Peça 10	Ø28,862	Ø28,79±0,01	Peça 25	Ø28,859	Ø28,79±0,01
Peça 11	Ø28,865	Ø28,79±0,01	Peça 26	Ø28,862	Ø28,79±0,01
Peça 12	Ø28,858	Ø28,79±0,01	Peça 27	Ø28,865	Ø28,79±0,01
Peça 13	Ø28,861	Ø28,79±0,01	Peça 28	Ø28,863	Ø28,79±0,01
Peça 14	Ø28,863	Ø28,79±0,01	Peça 29	Ø28,865	Ø28,79±0,01
Peça 15	Ø28,859	Ø28,79±0,01	Peça 30	Ø28,866	Ø28,79±0,01

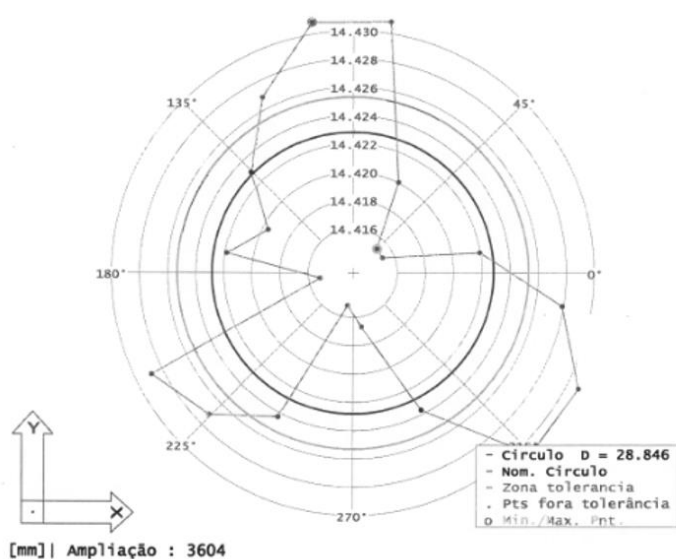
Fonte: Autor, 2022.

Como visto na **Tabela 11**, as peças foram produzidas com o diâmetro do furo acima do especificado na instrução de serviço. As peças com diâmetro do furo acima do especificado apresentam uma folga em relação ao dispositivo de fixação e se movem durante a usinagem. Esse movimento faz com que as peças sejam produzidas com excentricidade acima do especificado.

O quarto questionamento foi: Por que as peças estão sendo produzidas fora do especificado? Avaliando a linha de produção, foi observado que quando as peças estavam com o diâmetro do furo de acordo com o especificado havia dificuldade na montagem entre as peças e o dispositivo de fixação. Para entender melhor esse fenômeno, foi avaliado o processo anterior. No torneamento foi constatado que as peças apresentavam uma variação no perfil do diâmetro do furo. A **Figura 10** mostra

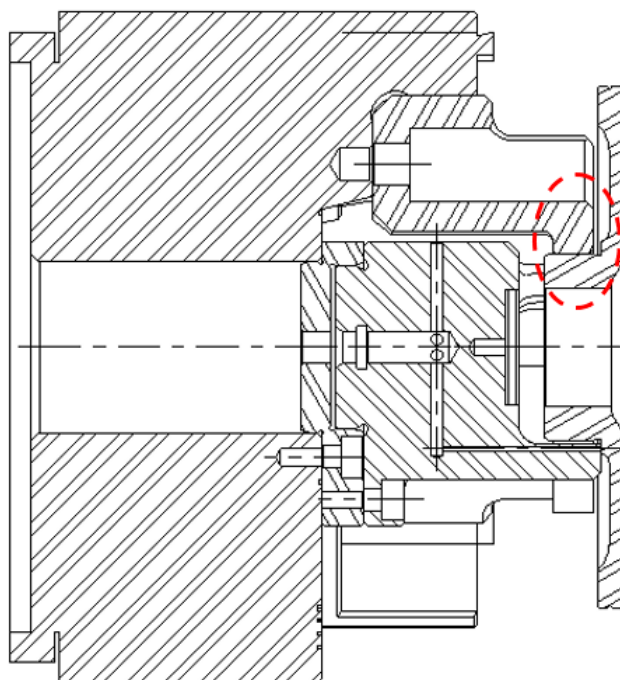
a forma do perfil da região do diâmetro do furo. Como indicado na imagem, é possível perceber que há uma anomalia na região que se repete a cada 120° aproximadamente. De acordo com a ASME,2009, este fenômeno chamado de erro de circularidade é um dos diversos tipos de tolerâncias geométricas e avalia a variação dimensional de um diâmetro quando medido infinitos pontos na mesma altura. Um exemplo como o da **Figura 10** indica que o diâmetro do furo apresenta variações à medida em que é alterado o ponto de inspeção. Esse fato justifica as peças estarem com problemas de montagem no dispositivo de fixação da operação de fresar dentes.

Figura 10 - Circularidade do Furo Op. Torneamento



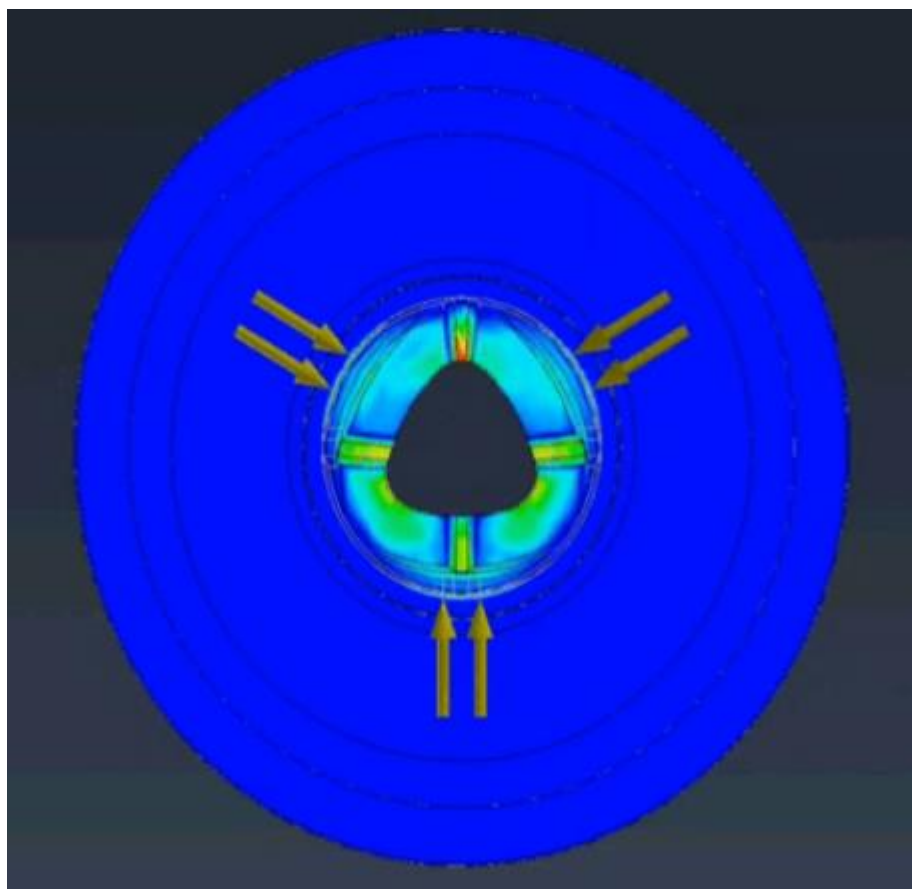
Fonte: Autor, 2022.

O quinto questionamento foi: Por que as peças estão com erro de forma do furo acima do especificado? Como mostrado na **Figura 8**, no torneamento a peça é fixada pela região do cubo. Partindo desse ponto, o projeto do dispositivo de fixação foi avaliado para verificar seus efeitos durante a usinagem.

Figura 11 - Fixação Op. Torneamento

Fonte: Autor, 2022.

Como mostrado na **Figura 11**, região vermelha, o ponto de fixação da castanha é inteiramente na região de cubo. Logo, foi verificado que o esforço realizado pela castanha para fixar a peça durante a usinagem poderia causar algum tipo de deformação. Para avaliar este item, foi realizada simulação através de Métodos de Elementos Finitos com o recurso do *software* Nastran, produto da *Autodesk*®. Para a simulação foi reproduzida a pressão de fixação indicada pelo fabricante do equipamento, foi definido o material da peça e as restrições de movimento.

Figura 12 - Avaliação da Deformação do Furo

Fonte: Autor, 2022.

Como é mostrado na **Figura 12**, a pressão necessária exercida para que o sistema de fixação suporte os esforços durante a usinagem sem que a peça se mova, faz com que a região do cubo deforme e conseqüentemente resulte no erro de forma da região do furo.

Uma maneira prática de avaliar se a ferramenta dos 5 porquês foi desenvolvida corretamente é fazer o caminho inverso ao feito anteriormente. A partir da causa raiz, é feito o *link* com cada um dos porquês até chegar no problema original. Como visto, a pressão de fixação exercida na peça durante usinagem faz com que a peça fique com o erro de forma elevado na região do furo. Esse erro faz com que haja uma variação na dimensão do diâmetro do furo e impossibilite a montagem da peça no dispositivo. Na tentativa de compensar essa variação na dimensão, os operadores de produção acabam produzindo a peça com o diâmetro do furo maior do que especificado para garantir a montagem no dispositivo de fresa. Logo, como a peça foi produzida com o diâmetro do furo acima do especificado, é criada uma folga entre a peça e o eixo de referência do dispositivo de fresa. Essa folga faz com que durante a

usinagem a peça se mova em torno do centro e acabe sendo produzida com a excentricidade entre o diâmetro externo e furo da engrenagem acima do especificado. Como a peça foi produzida excêntrica e na operação de calibrar furo a referência de fixação é o diâmetro externo da peça, **Figura 6**, há um deslocamento do furo em relação ao diâmetro externo fazendo com que seja removido mais material em uma região da peça do que em outra. Desta forma é gerado o problema de falha de material.

3.7 Soluções Propostas

Com o objetivo de atuar na causa raiz e eliminar o problema, foi realizado um *brainstorming* para que as ideias de resolução fossem propostas. Para isso, foram levados em consideração todos os itens mostrados no capítulo 3.6. Dentre todas as ideias propostas, três foram consideradas para desenvolvimento de projeto e implantação de testes práticos.

Para a primeira proposta foi utilizado o conceito da relação entre a pressão, a força e a área, no qual quanto maior a área de um objeto, menor o efeito da pressão exercida sobre ele (equação 3.1). Partindo deste conceito, foi proposto a substituição do dispositivo de fixação da operação de torneamento que utiliza castanhas e fixa apenas por três pontos, por um de pinça que tem o objetivo de fazer a fixação em toda região do cubo. O dispositivo de fixação por pinça possui vantagem em relação ao dispositivo de fixação por castanhas por possuir um grau de recobrimento maior na peça. Desta forma, com uma maior área de contato os efeitos da elevada pressão de fixação sobre a peça são minimizados, levando em conta somente os esforços compressivos sob a peça, sem levar em conta os esforços de flexão e cisalhamento, podemos aproximar a equação 3.1 e dizer que a tensão aplicada sobre a peça será como na equação 3.2, dessa forma, quanto maior for a área de contato, menor a tensão e a deformação sob a peça.

$$P = \frac{F}{A} \quad (3.1)$$

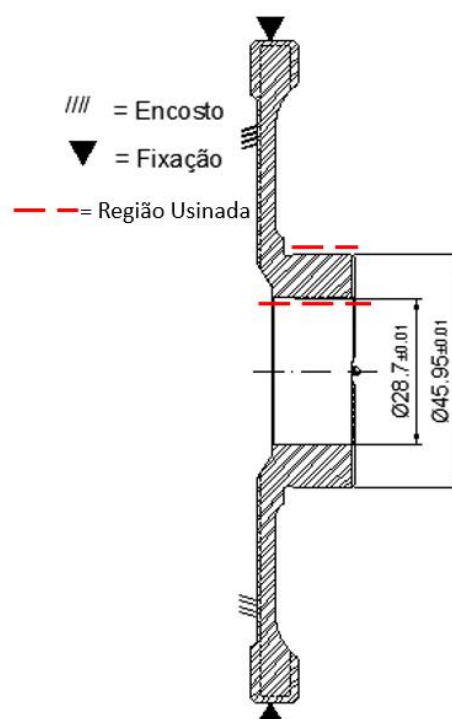
$$\sigma_{Comp..} = P = \frac{F}{A} \quad (3.2)$$

Para a segunda proposta foi utilizado o mesmo conceito da primeira, no entanto aplicando recursos diferentes. Foi proposta a redução da pressão exercida sobre a

peça a fim de minimizar os efeitos do erro de forma na região do furo. Dessa forma, será eliminada a variação dimensional que ocorre e será possível atender as especificações do processo.

Para a terceira proposta foi pensado em alterar o fluxo de manufatura do produto retirando a usinagem do furo da operação de torneamento. Como mostrado na **Figura 7**, o fluxo de manufatura do produto possui as operações de desbastar, tratamento térmico 1, torneamento, fresamento, tratamento térmico 2 e calibração de diâmetros de furo e cubo. Diferente dos demais produtos, este apresenta duas operações de tratamento térmico, cementação, para atender necessidades especiais solicitadas pelo cliente. Na operação de desbastar, **Figura 13**, a peça é fixada pela região do diâmetro externo e possui as regiões de cubo e furo usinadas simultaneamente. Já na operação de torneamento, **Figura 8**, a peça é fixada pela região do cubo e possui face, diâmetro externo e para garantir que a peça monte perfeitamente no dispositivo de fresa, o furo é novamente usinado removendo uma pequena quantidade de material apenas para eliminar possíveis deformações causadas pelo tratamento térmico.

Figura 13 - Instrução de Serviço Op. Desbastar

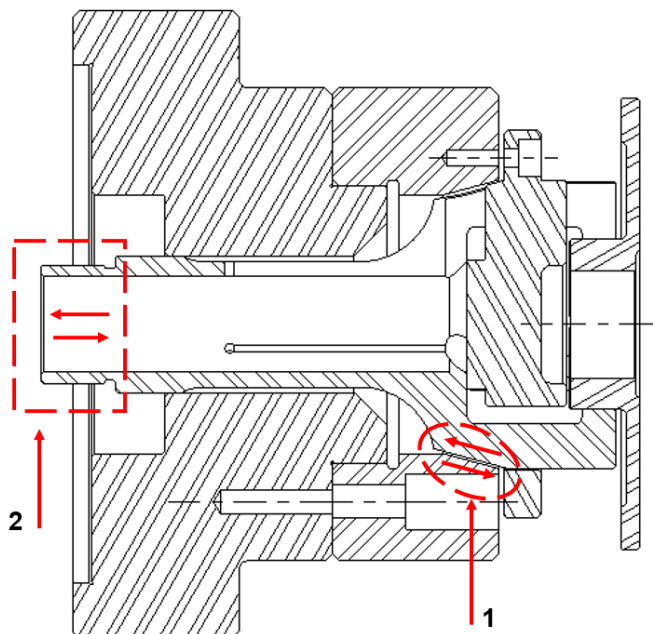


4 RESULTADOS E ANÁLISES

Neste capítulo serão apresentados os resultados dos testes que foram propostos no capítulo 3.7. Como critério de análise, foi levado em consideração os impactos do teste em quatro diretrizes diferentes. Nas diretrizes de custo foi avaliado se o resultado do teste tem impacto positivo ou negativo no valor final do produto. Nas diretrizes de qualidade foi avaliado se o resultado do teste atende as especificações originais do produto. Nas diretrizes de *delivery* foi avaliado se o resultado do teste possui impacto no número de peças da produção. Por fim, nas diretrizes de segurança foi avaliado se o resultado do teste possui algum efeito negativo na saúde do colaborador.

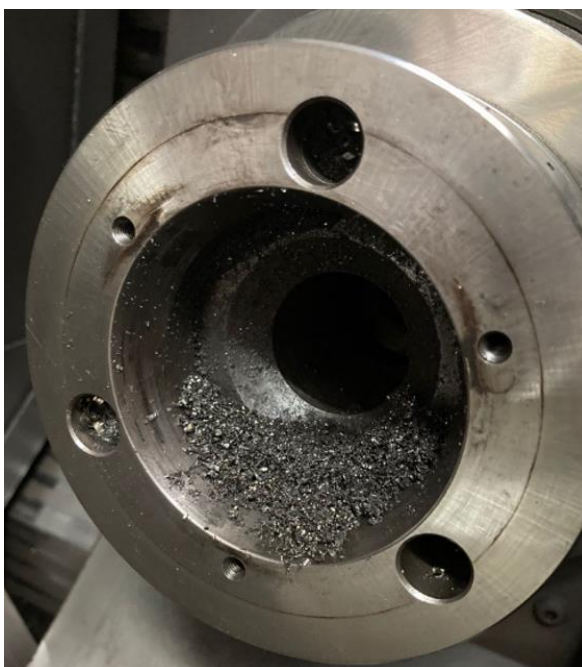
4.1 Alteração do Dispositivo de Fixação da Operação de Torneamento

Na primeira solução que consiste em alterar o dispositivo de fixação, baseado na equação 3.2, é possível notar que quanto maior a área de contato, menor será a tensão exercida no objeto, resultando numa menor deformação. O dispositivo consiste na montagem de um flange com um ângulo na entrada e uma pinça com o mesmo ângulo obtido no flange, região 1 da **Figura 14**. O movimento de deslizamento entre a pinça e o flange é realizado através da barra de tração que é montada na pinça, região 2 da **Figura 14**. Quando acionado a abertura e fechamento do sistema de fixação, a barra de tração se movimenta aproximando ou afastando a pinça em relação ao flange. Esse movimento faz com que a pinça deforme e fixe a peça.

Figura 14 - Sistema de Fixação por Pinça

Fonte: Autor, 2022.

Quando levado para teste em máquina, o dispositivo apresentou um acúmulo de cavaco na região de contato entre a flange e a pinça, **Figura 15**. O acúmulo de cavaco na região causou interferência no contato entre as áreas e deslocou a pinça do centro de referência do dispositivo. Conseqüentemente, houve problemas com excentricidade na peça.

Figura 15 - Acúmulo de Cavaco no Flange

Fonte: Autor, 2022.

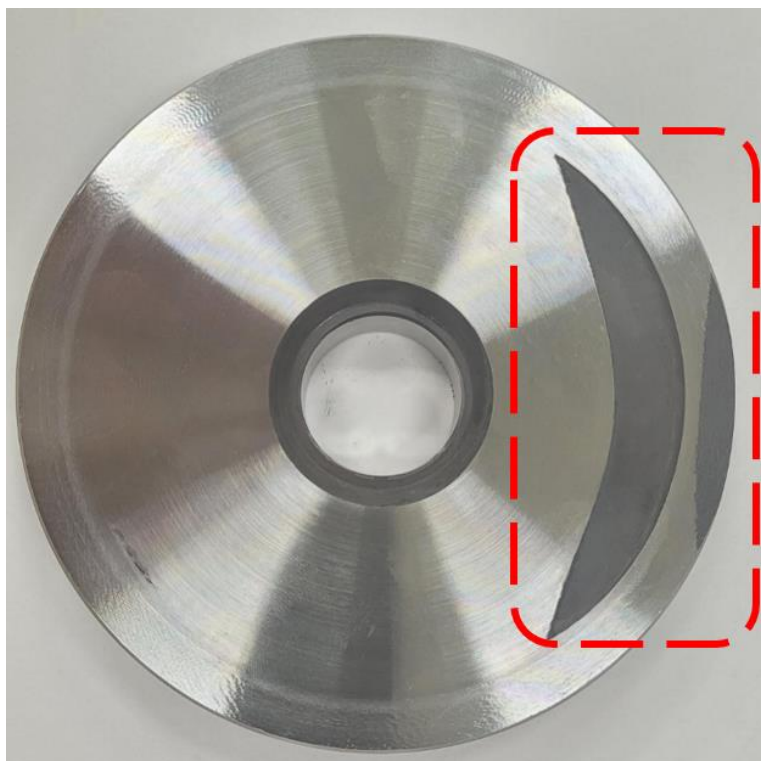
Mesmo sendo uma ideia economicamente mais viável, não representando risco aos colaboradores e evitando o problema de deformação sob a peça, a especificação da excentricidade do cubo em relação ao furo necessária para atendimento do produto, **Figura 8**, não atingiu o valor especificado. Desta maneira, a proposta foi reprovada por não atender às diretrizes de qualidade.

4.2 Redução da Pressão de Fixação

Na segunda solução foi utilizado o conceito citado na equação 3.2 para diminuir o efeito da tensão exercida sob a peça. Para isso, foram realizados testes experimentais reduzindo gradativamente a pressão de fixação, com decréscimo de 0.5 MPa por teste com o objetivo de avaliar o comportamento da deformação na região do furo a cada pressão aplicada.

Como resultado, logo no primeiro teste foi possível perceber que na região destacada da **Figura 16**, houve falha na usinagem da face da peça durante a operação. Essa falha indica que a pressão utilizada é insuficiente para suportar os esforços durante a usinagem e permitiu que a peça se movesse durante a operação.

Figura 16 - Falha de Usinagem na Face



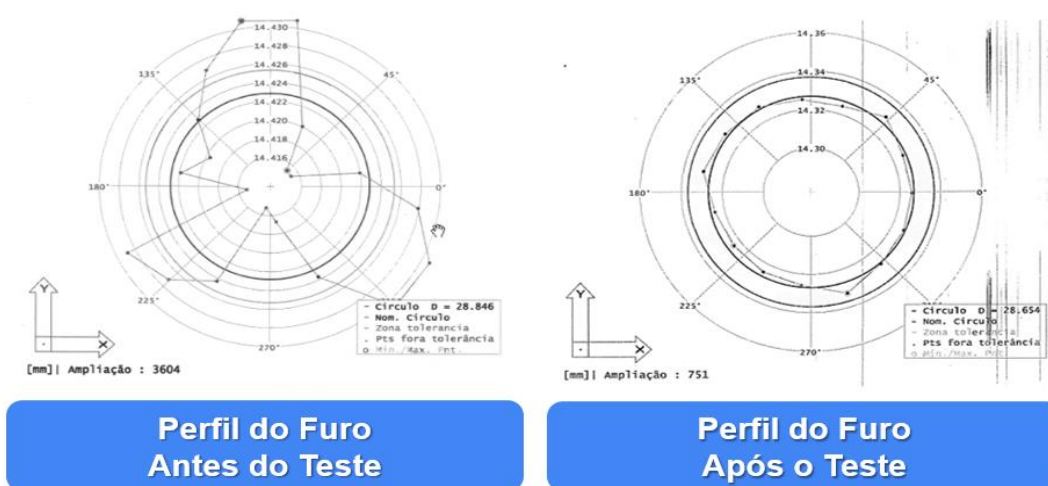
Com esse teste não foi possível perceber mudança na deformação da região do furo da peça. Essa proposta também não se mostrou viável observando pelo aspecto de qualidade, visto que não solucionou o problema e apresentou novas falhas ao produto. Avaliando pelo aspecto da segurança, o teste apresenta condição de risco para o colaborador, pois como citado, a peça se soltou da fixação durante usinagem e poderá causar algum acidente. Desta maneira, a proposta foi reprovada por não atender às diretrizes de qualidade e segurança.

4.3 Mudança no Fluxo de Manufatura do Processo

Na terceira solução a região do diâmetro do furo deixou de ser usinada na operação de torneamento que possui fixação pela região do diâmetro do cubo e passou a ser usinada apenas na operação de desbaste que possui fixação na região do diâmetro externo. Para tornar possível este teste, foram alteradas as especificações do diâmetro do furo na operação de desbaste, visto que não haverá mais remoção de material no furo no torneamento.

Como resultado do teste, foi possível eliminar a deformação causada pela pressão de fixação na operação de torneamento, **Figura 17**. É possível verificar na imagem a esquerda a deformação em três pontos causada pela fixação por castanha na região do cubo e na imagem a direita o perfil da região do diâmetro do furo quando a peça é fixada pelo diâmetro externo.

Figura 17 - Comparativo entre Deformação da Região do Furo



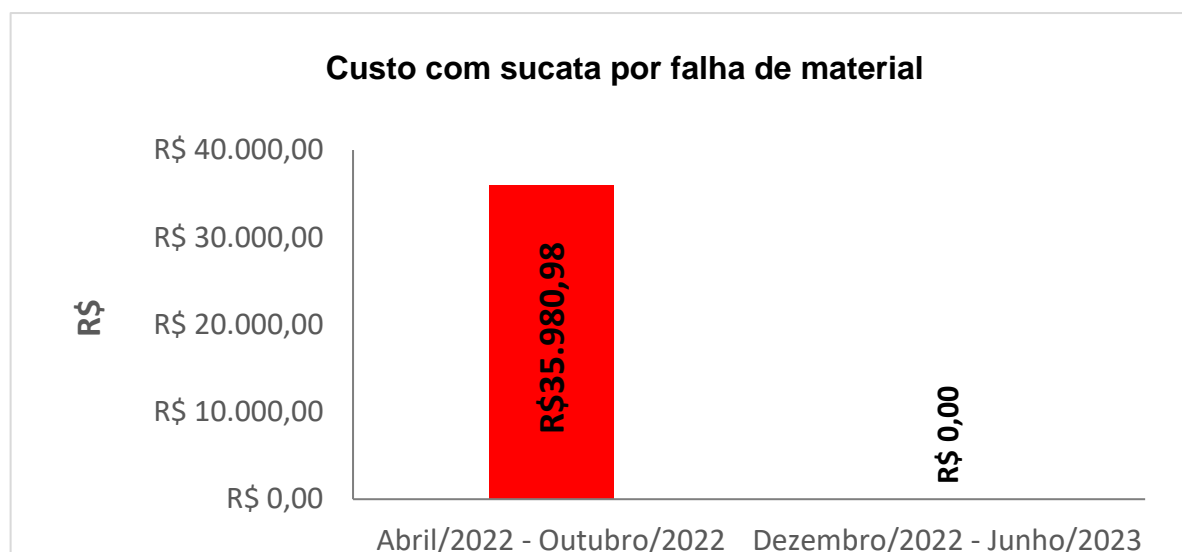
Essa proposta se mostrou economicamente viável, pois não adiciona nenhum custo ao processo. Avaliando pelo aspecto das diretrizes de qualidade, a proposta também se mostrou eficaz, avaliando pelo aspecto das diretrizes de segurança, não há nenhum fator que torne o processo inseguro para o colaborador. Por fim, avaliando pelo aspecto das diretrizes de *delivery*, não há nenhum aumento no tempo de fabricação do produto que impacte na produtividade da linha de produção.

4.3.1 Análise de Retorno Financeiro

Neste capítulo serão mostrados os resultados financeiros obtidos com o desenvolvimento e implantação deste trabalho. Serão pontuados comparativos de custos antes e após implantação do trabalho e a redução indireta de custo que está atrelado ao trabalho aqui apresentado.

4.3.1.1 Análise do Custo com Refugo

Uma vez solucionado a causa raiz do problema, foram avaliados os números de custo com sucata referente ao problema de falha de material. Realizado um comparativo entre os custos com refugo por motivo de falha de material nos meses de abril/2022 a outubro/2022 e dezembro/2022 a junho/2023, como mostrado no Gráfico 12, não houve custo com refugo pelo motivo avaliado. Tal redução indica uma economia anual estimada em R\$61.681,68 reais.

Gráfico 12 - Custo com Refugo por Falha de Material

Fonte: Autor, 2022.

4.3.1.2 Economia com o Custo Peça

O custo de uma peça em uma indústria refere-se ao valor associado à produção de uma unidade daquela peça específica. Esse custo é calculado levando em consideração diversos fatores, tais como: custo com matéria prima, custo com mão de obra, custo com fabricação, custo com transporte, custo com qualidade e custos administrativos. Tais custos variam de acordo com o volume de produção e eficiência produtiva.

Com a remoção da usinagem do diâmetro do furo na operação de torneamento, houve uma redução de 13 segundos na operação. Esse tempo reduzido reflete em uma maior capacidade de produção de peças e conseqüentemente uma redução no custo do produto. Tal redução, quando multiplicado pelo volume de peças produzidas anualmente, proporciona à empresa uma economia de R\$186.000,00 reais.

5 CONSIDERAÇÕES

A proposta de substituição foi reprovada pois como foi mostrado no capítulo 4.1 não atendeu as diretrizes de qualidade, como mostrado na Figura 15. A proposta da redução da pressão de fixação, como mostrado no capítulo 4.2, foi reprovada pois não mostrou efeitos significativos na deformação do furo e não atendeu as diretrizes de qualidade e segurança, visto que a peça apresentou falha de usinagem na face da peça e indícios de movimentação durante a usinagem, mostrando que a tentativa de redução da pressão foi ineficiente. A terceira proposta foi a mudança do ponto de fixação da peça no momento da usinagem do furo. Para esta proposta o diâmetro do furo deixou de ser usinado na operação de torneamento que possui fixação pela região do diâmetro do furo e passou a ser usinado na operação de desbaste que possui fixação pela região do diâmetro externo. Como visto na **Figura 17**, a mudança do ponto de fixação solucionou o problema em sua causa raiz. Sendo assim, a proposta foi aprovada, pois não apresentou algum risco a integridade dos colaboradores, custo ao preço do produto e atendeu aos requisitos de qualidade.

Com a implantação da proposta, foi possível a redução de 100% no percentual de peças produzidas com refugo por falha de material nos diâmetros de cubo e furo. Além da redução em 100% das peças com refugo pelo motivo citado, houve também uma redução no custo de fabricação da peça em R\$0,31 reais por unidade produzida. Tal redução proporcionou uma economia anual de R\$186.000,00 reais.

REFERÊNCIAS

- AUGUSTO, C. C. **Ferramenta da Qualidade**. Tese de Doutorado – Instituto Politécnico de Tomar, 2021.
- ASME Y14.5-2009, **Dimensioning and Tolerancing**, ASME, 2009.
- BUOGO, R. P. F. **Desgaste De Fresa Caracol Na Usinagem De Engrenagem**. Dissertação de mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.
- CARPINETTI, Luiz Cesar Ribeiro et al. **Gestão da Qualidade**. 2ª Ed. São Paulo, Editora Atlas SA, 2012.
- DANIEL, E. A., MURBACK, F. G. R. **Levantamento Bibliográfico Do Uso Das Ferramentas Da Qualidade**. *Gestão & Conhecimento*, v. 8, n. 2014, p. 1-43, 2014.
- DE OLIVEIRA, PAULA SANTOS; DOS SANTOS, IVAIR ALVES. **Aplicação Das Ferramentas Da Qualidade A Utilização Da Matriz De Prioridade GUT Em Uma Indústria De Autopeças**. In: IV Congresso Internacional De Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento-UNITAU. 2014.
- DIAS, E. F. **Como Funciona Um Motor de 4 Tempos**; Educação Automotiva, 2019. Disponível em: <https://educacaoautomotiva.com/2017/07/06/motor-4-tempos-como-funciona/>. Acesso em 29 de julho de 2022.
- DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. 9ª ed. São Paulo, Artliber editor LTDA, 2014.
- DOSSETT, J. L., BOYER, H. E., **Practical Heat Treating** 2º ed. Ohio, ASM International, 2006.
- FERRARESI, D. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. 1ª ed. São Paulo, Blücher editora, 1970.
- FERREIRA, R. A. S. **Conformação Plástica Fundamentos Metalúrgicos e Mecânicos**. 2ª ed. Recife, Editora Universitária UFPE, 2010.
- FOGAÇA, J. R. V. **Funcionamento do Motor de Combustão**; Brasil Escola, 2012. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/funcionamento-motor-combustao.htm>. Acesso em 29 de julho de 2022.
- KOZIOR, T.; BOCHINEA, J. **Problems of The Compensation of Centrifugal Force In Lathe Chucks**. *Journal Of Machine Construction And Maintenance*, Radom, Polônia, 2018.
- LAMIM, T. S. **Cementação e Nitretação-Cementação A Plasma Em Baixa Temperatura Em Ferro Puro Sinterizado**. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

LIMA, F. E.; ROLIM, F. R. **Efeitos dos parâmetros de corte na qualidade de peças usinadas pelo processo de torneamento**. Revista Tecnologia, v. 34, n. 1/2, p. 97–103, 2013. Disponível em: <https://ojs.unifor.br/tec/article/view/4495>. Acesso em: 4 jan. 2023.

MARQUES, J.C. **Ferramentas da qualidade**. Universidade da Madeira, 2012.

MARTINS, J. **Motores de Combustão Interna**. 4ª ed. Portugal, Publindústria Produção de comunicação Lda. 2013.

MAZZO, N. **Engrenagens Cilíndricas: da Concepção à Fabricação**. 2ª ed. São Paulo, Blücher editora, 2013.

NAPOLEÃO, B. M. **5 Porquês**, 2019. Disponível em: <<https://ferramentasdaqualidade.org/5-porques/>>. Acesso em: 24, abril e 2023.

NORTON, L ROBERT. **Projeto de Máquinas**. Bookman, 2004.

NUNES, R. M. **ASM Metals Handbook - Volume 4: Heat treating**, Ohio, ASM Internetal, 1999.

PEPPER, Darrell W.; HEINRICH, Juan C. **The finite element method: basic concepts and applications**. Taylor & Francis, 2005.

SANTOS, P. V. S. DOS SANTOS, L. P. G. Gestão de indicadores: um estudo de caso no setor de serviços. **Brazilian Journal of Production Engineering-BJPE**, p. 115-133, 2018.

STIPKOVIK, F. **Engrenagens**. McGraw-Hill do Brasil, São Paulo, 1973.

ZWIRTES, C.; MORENO, D. A. N.; SCHROETER, R. B. **Influência do processo de preparação de amostras por seriamente sobre microestrutura da raiz de cavacos**. 7º congresso brasileiro de engenharia de fabricação, 7º COBEF, Penedo - RJ, 2013.