

**JUAN GABRIEL DE ALBUQUERQUE RAMOS**

**USO DA FERRAMENTA DMAIC: ALTO ÍNDICE DE FALHAS NO PROCESSO DE  
PARAFUSAMENTO DE *HEAT SINK***

**MANAUS – AM**

**2022**

**JUAN GABRIEL DE ALBUQUERQUE RAMOS**

**USO DA FERRAMENTA DMAIC: ALTO ÍNDICE DE FALHAS NO PROCESSO DE  
PARAFUSAMENTO DE *HEAT SINK***

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Gestão de Processos, Sistemas e Ambiental - PPG.EGPSA, do Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia– ITEGAM, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

**Orientador:** Prof. Dr. Jandecy Cabral Leite

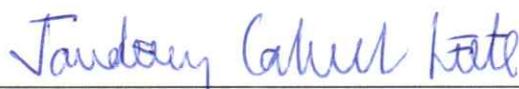
**MANAUS – AM  
2022**

**JUAN GABRIEL DE ALBUQUERQUE RAMOS**

**USO DA FERRAMENTA DMAIC: ALTO ÍNDICE DE FALHAS NO  
PROCESSO DE PARAFUSAMENTO DE *HEAT SINK***

Esta dissertação foi julgada e aprovada para a obtenção do título de Mestre do Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Gestão de Processos, Sistemas e Ambiental do Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia – ITEGAM.

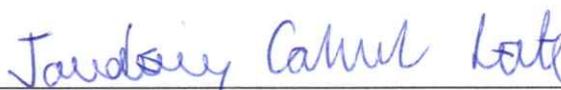
Manaus, 14 de dezembro de 2022



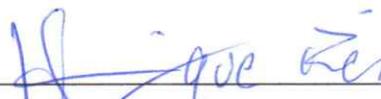
**Prof. Dr. Jandecy Cabral Leite**

Coordenador do PPG.EGPSA - ITEGAM

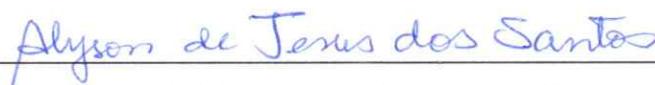
**BANCA EXAMINADORA**



**Prof. Dr. Jandecy Cabral Leite**  
Orientador (PPG.EGPSA/ITEGAM)



**Prof. Dr. Manoel Henrique Reis Nascimento**  
Examinador Interno (PPG.EGPSA/ITEGAM)



**Prof. Dr. Alyson de Jesus dos Santos**  
Examinador Externo (IFAM)

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Sistema de Biblioteca do ITEGAM**

---

Ramos, Juan Gabriel de Albuquerque, 2022 - USO DA FERRAMENTA DMAIC: ALTO ÍNDICE DE FALHAS NO PROCESSO DE PARAFUSAMENTO DE HEAT SINK : USO DA FERRAMENTA DMAIC: ALTO ÍNDICE DE FALHAS NO PROCESSO DE PARAFUSAMENTO DE HEAT SINK / Juan Gabriel de Albuquerque Ramos - 2022. 63 f., il: Colorido

Orientador: Dr(a). Jandecy Cabral Leite

Dissertação: Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia, Programa de Pós Graduação em Engenharia, Gestão de Processos, Sistemas e Ambiental (PPG-EGPSA), Manaus - AM, 2022.

1. DMAIC 2. Redução de perdas 3. Melhorias 4. Gestão de produção 5. Fuzzy

CDD - 1001.ed.2022.47

---

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, à minha família, esposa e filhas. Agradeço ao meu orientador, prof. Jandecy Cabral Leite e a todos os colaboradores do ITEGAM. Agradeço à SUFRAMA e à Fundação Muraki pelo apoio.

*Ama e faz o que queres (Sto. Agostinho).*

*Dedico esta pesquisa a Deus e à minha família.*

## RESUMO

RAMOS, Juan Gabriel de Albuquerque. **USO DA FERRAMENTA DMAIC: ALTO ÍNDICE DE FALHAS NO PROCESSO DE PARAFUSAMENTO DE *HEAT SINK***. 2022. F.63. Dissertação do programa de pós-graduação em Engenharia, Gestão de Processos, Sistemas e Ambiental (EGPSA), Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (ITEGAM), Manaus, 2022.

A metodologia DMAIC possui potencial em detectar falhas nos processos produtivos e apontar melhorias para os resultados. Neste sentido, o objetivo geral desta pesquisa busca apontar por meio de um estudo de caso como a utilização da DMAIC dentro de uma empresa do setor de Manufatura de outros equipamentos e componentes elétricos sortidos avaliando o alto índice de falhas no processo de parafusamento de *heat sink* pode ser uma ferramenta eficaz para alavancar e melhorar os processos produtivos da empresa, resultando assim em uma maior lucratividade. Assim, os objetivos específicos buscam apresentar e conceituar o que é DMAIC, e como a aplicação de seus princípios primários resultam em vantagens para um gerenciamento de produção eficaz, elucidar o que e como ocorre um mapeamento de processos em conformidades com a engenharia de processos, apresentar e conceituar o que é a melhoria contínua de processos e quais são suas principais ferramentas, e realizar um estudo de caso em uma empresa que produz e fornece peças automotivas, apontando como o uso da DMAIC pode ser um grande diferencial, de forma a diminuir falhas nos processos produtivos e alavancar a lucratividade. Para alcance dos objetivos primariamente foi realizada uma pesquisa bibliográfica para levantamento de embasamento teórico e posteriormente foi aplicado um estudo de caso na Empresa X. Por fim, sugere-se a realização de um novo estudo de caso, onde a metodologia DMAIC possa ser novamente aplicada, a fim de evidenciar sua eficácia em empresas de manufatura.

**Palavras-chave:** DMAIC; Redução de perdas; Melhorias; Gestão de produção. Fuzzy.

## ABSTRACT

RAMOS, Juan Gabriel de Albuquerque. USE OF THE DMAIC TOOL: HIGH FAILURE RATE IN THE HEAT SINK SCREWING PROCESS. 2022. F.63. Dissertation of the graduate program in Engineering, Process, Systems and Environmental Management (EGPSA), Galileo da Amazônia Institute of Technology and Education (ITEGAM), Manaus, 2022.

The DMAIC methodology has the potential to detect failures in production processes and point out improvements to the results. In this sense, the general objective of this research seeks to point out through a case study how the use of DMAIC within a company in the Manufacturing sector of other assorted electrical equipment and components evaluating the high rate of failures in the screwing process of heat sink can be an effective tool to leverage and improve the company's production processes, thus resulting in greater profitability. Thus, the specific objectives seek to present and conceptualize what quality management is, conceptualize what production management is and how the application of its primary principles results in advantages for effective production management, elucidate what and how a process mapping in compliance with process engineering, present and conceptualize what continuous process improvement is and what are its main tools, conceptualize what the DMAIC Methodology is, and finally, carry out a case study in a company that produces and supplies automotive parts, pointing out how the use of DMAIC can be a great differential, in order to reduce failures in production processes and leverage profitability. In order to reach the objectives, bibliographic research was primarily carried out to survey the theoretical basis and later a case study was applied in Company X. Finally, it is suggested to carry out a new case study, where the DMAIC methodology can be used. applied again, in order to demonstrate its effectiveness in manufacturing companies.

**Keywords:** DMAIC; Loss reduction; Improvements; Production management. Fuzzy.

## SUMÁRIO

<b><i>CAPÍTULO 1</i></b> .....	<b><i>1</i></b>
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	2
1.2.1 Objetivo geral.....	2
1.2.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 ESCOPO DO TRABALHO.....	3
<b><i>CAPÍTULO 2</i></b> .....	<b><i>4</i></b>
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	4
2.1 GESTÃO DA QUALIDADE.....	4
2.1.1 Estratégias de qualidade.....	4
2.2 GESTÃO DE PRODUÇÃO.....	5
2.2.1 Vantagens do gerenciamento de produção eficaz.....	8
2.3 MAPEAMENTO DE PROCESSOS.....	8
2.3.1 Redução de perdas do setor industrial.....	11
2.4 MELHORIA CONTÍNUA DE PROCESSOS.....	14
2.5 DMAIC.....	16
2.5.1 Definir.....	17
2.5.2. Medir.....	18
2.5.3 Analisar.....	18
2.5.4 Melhorar.....	18
2.5.5 Controlar.....	18
2.6 PRINCIPAIS FERRAMENTAS ÚTEIS.....	19
2.6.1 Diagrama de Causa e Efeito.....	19
2.6.2 Matriz GUT.....	20
2.6.3 Diagrama de Pareto.....	21
2.6.4 5W2H.....	22
<b><i>CAPÍTULO 3</i></b> .....	<b><i>23</i></b>
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	23
3.1 MATERIAIS.....	23
3.2 MÉTODOS.....	23
3.2.1 Caracterização da empresa.....	23
3.2.2 Procedimentos da pesquisa.....	23

<b><i>CAPÍTULO 4</i></b> .....	<b>27</b>
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	27
4.1 DEFINIR (DEFINE) .....	27
4.2 MEDIR (MEASURE).....	28
4.3 ANALISAR (ANALYZE) .....	30
4.4 IMPLEMENTAR (IMPROVE).....	31
4.5 CONTROLAR (CONTROL) .....	33
4.5.1 Análise gráfica de torque e ângulo .....	33
4.5.2 Acompanhamento dos novos heat sink fabricados .....	35
4.5.3 Acompanhamento do índice de falhas.....	35
4.6 VALIDAÇÃO DA FASE CONTROLAR .....	37
4.6.1 Definição do conjunto fuzzy.....	37
4.6.2 Definição das regras de inferência.....	38
4.6.3 Simulação no MATLAB .....	40
4.6.4 Análise da tomada de decisão.....	42
<b><i>CAPÍTULO 5</i></b> .....	<b>45</b>
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	45
<b><i>REFERÊNCIAS</i></b> .....	<b>46</b>

# CAPÍTULO 1

---

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Para ter sucesso, posicionar-se de forma vantajosa em relação à concorrência e aumentar o interesse do consumidor pelos produtos e serviços oferecidos, a empresa deve certificar-se de controlar e garantir a qualidade. O que vende deve ser constantemente aprimorado para atender às exigências do mercado e às expectativas dos clientes. Por isso, implementa uma abordagem de qualidade que reúne e organiza todos os aspectos da operação da empresa com vista a atingir os objetivos de qualidade (MARANHÃO, 2006).

A gestão da qualidade é fundamental para o crescimento e desempenho de qualquer empresa. Também é um recurso valioso na luta por conexões com o cliente, pois se esforça para fornecer uma melhor experiência de atendimento ao cliente. A qualidade deve ser mantida em todos os níveis para que seu negócio prospere (MORAIS; GODOY, 2006).

A importância da gestão da qualidade reside em seu potencial para auxiliar as empresas a melhorar a confiabilidade, durabilidade e desempenho de seus produtos. Esses elementos ajudam uma empresa a se destacar da concorrência (CERQUEIRA e NETO, 1991).

A implementação de uma abordagem de qualidade dentro de uma empresa visa controlar, garantir e planejar a gestão em um sistema de qualidade em uma indústria. Consiste em melhorar o nível de qualidade dos produtos e serviços. Isso está intrinsecamente ligado aos processos e procedimentos de produção. Na verdade, os procedimentos de qualidade fazem parte do processo de melhoria contínua. Visa otimizar os sistemas de gestão, as práticas profissionais e a satisfação do cliente. Graças à implementação de um sistema de gestão da qualidade, qualquer indústria garante o acompanhamento dos indicadores de qualidade. Isso também permite definir a abordagem geral da qualidade (o desempenho das auditorias internas) para detectar áreas para melhorar a qualidade. O gerente da qualidade é geralmente a primeira pessoa responsável pela gestão da qualidade dentro da empresa. Ele monitora a qualidade e segurança dentro da organização, define a política de qualidade e garante a melhoria contínua da qualidade.

Em termos de qualidade, os principais objetivos são aumentar a satisfação do cliente e, de forma mais geral, permitir que a empresa ganhe em eficiência e desempenho.

No entanto, o cliente não é a única parte a ficar satisfeita ao desenvolver e aplicar uma abordagem de qualidade; fornecedores, acionistas, mas também o pessoal da empresa também

deve ser levado em consideração (WEBB, 2006).

Uma abordagem de qualidade e suas diretrizes devem ser claras e acessíveis a todos internamente. Será difícil para qualquer pessoa no negócio cumpri-las se não as compreender. O sucesso da abordagem de qualidade também depende do grau de envolvimento do pessoal como um todo. As chefias asseguram a aplicação das diretrizes e ouvem os colaboradores, enquanto estes desempenham as suas funções respeitando escrupulosamente os procedimentos, tendo oportunidade de partilhar as suas sugestões (MESQUITA e ALLIPRANDINI, 2003).

Este estudo se justifica a partir de uma problemática de uma indústria situada em Manaus, que produz placas e painéis de automóveis. Dentre as diversas etapas da produção, a confecção das placas é um item sensível, especialmente quando os componentes eletrônicos mais caros já foram inseridos e a placa precisa receber a inserção de algum elemento mecânico externo.

Em nosso caso específico, a placa do painel automotivo recebe, ao final da produção, um dissipador de calor (*heat sink*), que é uma chapa metálica a ser parafusada na placa. Como já dito, este processo delicado, se for executado sem os cuidados devidos, pode causar a perda da placa inteira.

Dentro desta questão, o presente trabalho demonstra, por meio um estudo de caso, dentro de uma empresa do setor de Manufatura do Polo Industrial de Manaus, a eficácia da ferramenta DMAIC na detecção do índice de falhas no processo de parafusamento de *heat sink* de uma placa de painel automotivo. Pretende-se mostrar que o DMAIC pode ser uma ferramenta eficaz para solução de problemas e melhoria de processos.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo geral**

Aplicar o método DMAIC em um processo produtivo de uma empresa, para detecção de falhas e indicativo de melhorias na produção de uma placa com dissipador de calor.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Apresentar a ferramenta DMAIC;
- Utilizar ao método DMAIC no processo de parafusamento de uma placa automotiva;
- Demonstrar as melhorias que este processo obteve.
- Validar as decisões tomadas na fase de controle, através da Lógica Fuzzy.

### **1.3 ESCOPO DO TRABALHO**

A presente pesquisa foi estruturada em 5 capítulos. O primeiro capítulo apresenta a introdução do estudo, onde o contexto, justificativa e objetivos deste estudo estão apresentados.

O segundo capítulo traz todo o aporte teórico que baseou a realização prática deste estudo, apresentado todos os conceitos inerentes ao tema. O terceiro capítulo traz a metodologia aplicada na construção desta pesquisa, tanto sua parte teórica quanto a parte prática.

O quarto capítulo apresenta o estudo aplicado e os resultados alcançados. Por fim, o quinto capítulo traz as considerações finais levantadas a partir deste estudo.

## CAPÍTULO 2

---

### 2 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 2.1 GESTÃO DA QUALIDADE

##### 2.1.1 Estratégias de qualidade

As indústrias modernas estão na pista de um mercado altamente competitivo, buscando conquistar clientes. Para que uma empresa ou indústria tenha vantagem competitiva, um dos principais critérios é garantir a boa qualidade de seus produtos e serviços. O desenvolvimento de uma estratégia de qualidade apropriada exige levar em consideração vários fatores (SOUZA et al., 2019):

- Ambiente externo: progresso político, cultural, tecnológico, mudanças nas necessidades do consumidor, volatilidade do mercado, aumento da competitividade, integração, globalização, falta de recursos energéticos;
- Ambiente interno: que está associado às capacidades da produção, intimamente ligado a habilidades e competências em gestão, marketing, design, pesquisa e tecnologia.

A implementação da estratégia da qualidade requer uma estratégia de produto definida. Os fatores mais importantes que determinam o sucesso da estratégia do produto são (TÓFOLI, 2011):

- O nível de elasticidade da renda e preço da demanda por produtos manufaturados;
- Conhecimento sobre as necessidades e preferências dos clientes;
- Informações sobre tamanho do mercado e seu alcance;
- A capacidade de entender o design dos produtos e remover suas fraquezas e ameaças;
- O aumento das ações de avaliação e compra do consumidor, independente do canal utilizado, tem provocando uma revolução nos processos e setor de fabricação. O consumidor hoje, tem a sua disposição canais online e offline onde podem encontrar produtos que estejam procurando e que entregam respostas para seu problema, atendendo a suas necessidades.

Para alcançar tal objetivo para atender ao cliente, há estratégias que podem ser aplicadas (SOUZA et al., 2019):

- Ouvidoria para o cliente, é importante que o fabricante atenda e escute seu cliente, uma vez que virá dele a avaliação do uso do produto;
- Redução do tempo de ciclo dos pedidos e retrabalho automatizando preços, cotações e aprovações de clientes com um único sistema integrado, o que irá minimizar possíveis erros na produção;
- O rastreamento dos níveis de qualidade do produto em tempo real e o estabelecimento de metas individuais e de equipe para melhorá-los funcionam quando cada funcionário vê como o que está fazendo é importante;
- Os novos projetos de produtos devem ter rigorosas revisões de qualidade e prontidão de engenharia antes de serem liberados para produção;
- Usar dados de qualidade em tempo real para trazer urgência à necessidade de melhorar;
- Uso de auditorias de Qualidade para encontrar possíveis falhas na linha de produção e obter melhorias;
- Utilizar dados em tempo real para medir e reduzir o custo total da qualidade e melhorar a satisfação do cliente, alcançado tomada de decisões mais rápidas;
- Fluxos de trabalho sob supervisão para que possíveis falhas sejam sanadas rapidamente.

## **2.2 GESTÃO DE PRODUÇÃO**

A produção é um processo científico que envolve a transformação da matéria-prima (entrada) no produto ou serviço desejado (saída) por meio da adição de valor econômico (TODOROV, 2021). A produção pode ser amplamente categorizada nos seguintes com base na técnica:

- Produção por separação: Envolve a saída desejada é alcançada por meio da separação ou extração de matérias-primas. Um exemplo clássico de separação ou extração é o petróleo em vários produtos combustíveis (RITZMAN et al., 2004);
- Produção por modificação ou melhoria: envolve a mudança nos parâmetros químicos e mecânicos da matéria-prima sem alterar os atributos físicos da matéria-prima. O processo de recozimento (aquecimento em altas temperaturas e, em seguida, resfriamento), é um exemplo de produção por modificação ou melhoria (TODOROV, 2021);

- Produção por montagem: a produção de carros e computadores são exemplos de produção por montagem (RITZMAN et al., 2004).

A gestão da produção envolve o planejamento, organização, direção e execução das atividades produtivas. O objetivo final de qualquer solução de gerenciamento de produção é converter uma coleção de matérias-primas em um produto acabado. Algumas pessoas se referem à gestão da produção como a reunião dos 6 "Ms" (ANDRADE et al., 2010):

- *Mens* (homens);
- *Money* (dinheiro);
- *Machines* (máquinas);
- *Materials* (materiais);
- *Methods* (métodos);
- *Marketing* (mercados).

Esses constituintes se reúnem para fornecer aos consumidores e empresas os produtos de que precisam ou desejam. Os princípios de gerenciamento da produção são frequentemente chamados de princípios de gerenciamento da operação e são projetados para facilitar a produção de bens com a qualidade e quantidade exigidas.

A gestão da produção corresponde a todas as atividades de planejamento, lançamento e controle da produção, desde o plano estratégico até o fornecimento do produto acabado para distribuição (RITZMAN et al., 2004).

O planejamento da produção começa com o Plano Industrial e Comercial (PIC) que traduz os objetivos estratégicos em um plano de carga / capacidade balanceado por família de produtos. O objetivo é antecipar as oscilações da demanda e ter tempo suficiente para dotar o sistema industrial e logístico dos recursos e meios necessários para atender à demanda futura (SOUZA, 2009).

Em um ambiente econômico que se tornou tão competitivo, as questões financeiras são cruciais. O preço de venda dos produtos depende cada vez mais da demanda do mercado e continua fortemente influenciado pela concorrência. Para se manterem competitivas e, sobretudo, para garantir uma margem de lucro adequada na venda dos seus produtos, o principal recurso das empresas industriais é a redução dos custos de produção (ANDRADE et al., 2010).

O campo de atuação da gestão da produção na empresa é vasto, abrange muitas atividades e apela a profissionais de diversas áreas da formação. As restrições encontradas são de vários tipos:

- Financeiro (produzir a um custo ótimo), custo de materiais e consumíveis, custo de armazenamento de trabalho em andamento e produtos semiacabados, custo de gerenciamento de loja, custo de horas de trabalho adicionais, custo de tempo de inatividade, etc. formando uma parte integrante de o preço de custo, controlando este último, é também garantia para a comercialização dos produtos acabados (SOUZA, 2009);
- Temporário (produção no prazo, garantia de entrega *just-in-time*), evita rupturas de estoque, evita inflar estoques de produtos acabados. Porque isso tem um impacto direto na satisfação do cliente (perda de pedidos) ou no preço de custo do produto acabado devido aos custos adicionais de armazenamento (ANDRADE et al., 2010);
- Mecânica (manutenção preventiva e gestão de paradas), antecipar quebras e fornecer soluções alternativas em caso de parada da máquina (SOUZA, 2009);
- Qualidade (produzir com o mínimo de defeitos possível, o mínimo desperdício), um produto de boa qualidade contribui para a fidelização do cliente, transmite a imagem de marca da empresa. (ANDRADE et al., 2010);
- Planejamento: garantir um fluxo contínuo de fluxos, detectar e remover gargalos no circuito de produção. Neste nível, também se trata de definir um plano de produção, definir as faixas de operação, programar as operações e, finalmente, gerenciar a distribuição das tarefas ao longo do processo de fabricação (PEINADO et al., 2007).

Em particular do ponto de vista logístico, a organização da gestão da produção aposta na implementação de soluções que vão ao encontro destes diversos constrangimentos. Notavelmente (CORRÊA et al., 2011):

A escolha da política de fornecimento de material: escolha das fontes de fornecimento, planejamento do pedido, entregas *just-in-time*;

- A escolha da política de armazenamento: tipo e tamanho das lojas, terceirização de armazenamento;
- Política de manufatura: produção contínua, produção descontínua, programação da produção, volume de produção em relação às metas de vendas;

- Política comercial: gestão da rede física de distribuição, integração de métodos de gestão colaborativa, gestão da frota de veículos, controlo dos custos de distribuição.

Uma solução de gerenciamento de produção eficiente também entregará produtos no momento em que são exigidos pelo mercado com o menor custo possível. Qualquer solução de gerenciamento de produção bem-sucedida requer a utilização ideal da capacidade de produção para reduzir os custos ao mínimo (PEINADO et al., 2007).

### **2.2.1 Vantagens do gerenciamento de produção eficaz**

Existem vários benefícios na implementação dos princípios básicos do gerenciamento da produção; eles incluem uma boa reputação em um mercado específico e a capacidade de desenvolver novos produtos e colocá-los no mercado rapidamente (SOUZA, 2009).

A redução de custos em todas as fases do processo de produção oferece o principal benefício de reduzir os custos gerais de uma empresa. Obviamente, um fabricante não quer incorrer em custos quando não há pedidos, e uma solução de gerenciamento de produção eficaz - como a pioneira da Toyota - deve tornar isso uma meta alcançável (ANDRADE et al., 2010).

Como as empresas que adotam os princípios de gestão da produção podem manter um controle rígido sobre seus custos, elas podem ter uma vantagem competitiva no mercado, e isso pode permitir que cresçam muito mais rapidamente do que seria o caso (CORRÊA et al., 2011).

Empresas como a Toyota foram capazes de enfrentar empresas como a Nissan e a Ford nos mercados internacionais porque sua solução de gestão de produção inovadora garantiu qualidade para o consumidor e menores custos para o negócio - e é por isso que os princípios estão agora sendo implementados em indústrias de manufatura em todo o mundo (RITZMAN et al., 2004).

## **2.3 MAPEAMENTO DE PROCESSOS**

O mapeamento de processos é uma ferramenta de gerenciamento usada para representar visualmente o fluxo de trabalho e as etapas e pessoas envolvidas em um processo de negócios. Esses mapas também são comumente chamados de fluxogramas ou diagramas de fluxo de trabalho. As organizações usam essa ferramenta para obter um melhor entendimento de um processo e melhorar sua eficiência (PACHECO et al., 2021).

Ao criar diagramas fáceis de seguir, as partes interessadas podem identificar aspectos de um processo que podem ser melhorados. Isso inclui a identificação de gargalos em fluxos de

trabalho e outras ineficiências, como tarefas repetitivas, ideais para autômatos (MOREIRA, 2011).

O mapeamento de processos oferece muitos benefícios. Mencionam-se vários benefícios em um nível abstrato - compreender melhor um processo e aumentar a eficiência. Os benefícios mais específicos da criação de um mapa de processo incluem:

- Aumento na satisfação no trabalho. Os funcionários sabem o que esperar, quais são suas responsabilidades e apreciam a transparência que um mapa de processos oferece (PASCOAL, 2008);
- Melhoria no desempenho dos funcionários. Os funcionários que entendem suas funções e onde encontrar ajuda quando precisam são mais produtivos (MOREIRA, 2011);
- Amigo do usuário. Os mapas de processos de negócios são simples de seguir e são ideais para tarefas como treinamento de funcionários e sessões de brainstorming. O software BPM torna mais fácil projetar e testar processos, bem como compartilhá-los com a equipe (PACHECO et al., 2021);
- Certificações. Auxilia as organizações a obter e manter certificações do setor;
- Solução de problemas. Um mapa de processos de negócios permite que as organizações testem hipóteses e hipóteses, facilitando a identificação de problemas e soluções potenciais (MOREIRA, 2011).

Existem muitos tipos diferentes de mapas de processo. Qual deve ser utilizado depende do tipo de processo que se deseja mapear e quais são seus objetivos de negócios. Aqui estão alguns tipos comumente usados de mapas de processo:

- Um fluxograma básico é útil para criar um mapa simples que ilustra as entradas e saídas de um processo. Alguns casos de uso ideais para fluxogramas básicos incluem o planejamento de novos projetos, análise e gerenciamento de fluxos de trabalho e melhoria da colaboração entre os membros da equipe. Os fluxogramas podem ser criados manualmente usando os símbolos do mapa de processo que foi mencionada acima ou em questão de minutos usando um software de gerenciamento de processos de negócios (PACHECO et al., 2021).
- Um mapa de processo de alto nível, ou mapa de cima para baixo, mostra como um processo funciona em um número limitado de etapas. Eles fornecem um instantâneo rápido do que um processo faz, mas não entram em detalhes sobre como um processo é

executado. Mapas de processo de alto nível são ideais para discutir processos com liderança ou terceiros que não exijam especificações (MOREIRA, 2011).

- Mapa detalhado do processo: os detalhes são úteis para compreender as complexidades de um processo. Ao contrário de um mapa de processo de alto nível, os mapas detalhados também incluem subprocessos; tornando isso mais útil para identificar ineficiências e para documentar pontos de decisão dentro de um processo (PASCOAL, 2008).
- SIPOC é um acrônimo que ajuda as partes interessadas a identificar os elementos-chave de um processo. A sigla significa fornecedor - entradas - processo - saídas - cliente. O SIPOC se parece mais com uma tabela ou gráfico do que com um mapa. Listar os elementos-chave, no entanto, é um precursor importante para a criação de um mapa de processo mais detalhado. Os diagramas SIPOC também ajudam a definir o escopo de processos de negócios complexos e são úteis para as partes interessadas ao discutir um processo (PACHECO et al., 2021).
- Mapas de raia: as raiais, ou mapas multifuncionais, são usados para mostrar "quem faz o quê". Eles separam as atividades em faixas ou canais de acordo com quem é responsável pela execução da tarefa ou processo. Os mapas de raia são úteis para fins de gerenciamento. Eles são ideais para treinar novos funcionários e aumentar a responsabilidade. Os mapas de raia também ajudam as partes interessadas a compreender os fluxos de trabalho e como eles se relacionam e interagem com outros processos de negócios (PASCOAL, 2008).
- Os mapas do fluxo de valor mostram as etapas necessárias para entregar um produto ou serviço aos clientes. Eles utilizam um sistema de símbolos para ilustrar fluxos de informação e tarefas. Os mapas do fluxo de valor são particularmente úteis para identificar desperdícios dentro e entre os processos. Eles também desempenham um papel importante na identificação de oportunidades e no planejamento de projetos futuros (HAMANAKA et al., 2019).

Os mapas de processos usam representações visuais, como símbolos básicos para descrever cada elemento do processo. Alguns dos símbolos mais comuns são setas, círculos, diamantes, caixas, ovais e retângulos. Esses símbolos podem vir do *Business Process Model and Notation* (BPMN) ou *Unified Modeling Language* (UML), que são métodos gráficos de notação para mapas de processo. A maioria das organizações precisará usar apenas alguns dos

símbolos mais comuns para completar um mapa de processo. Alguns desses símbolos incluem (PACHECO et al., 2021):

- Um retângulo é usado para representar um processo específico e suas atividades e funções;
- Uma seta é usada para mostrar a direção do fluxo e a conexão entre as etapas;
- Um oval geralmente é usado para mostrar os pontos iniciais ou finais de um fluxo de processo;
- Um diamante é usado para indicar um ponto de decisão. O processo continuará seguindo um caminho predefinido dependendo da decisão;
- Um retângulo com uma extremidade arredondada é frequentemente usado como um símbolo de atraso, mostrando uma pausa no processo antes que o fluxo continue.

O objetivo principal do mapeamento de processos de negócios é ajudar as organizações a se tornarem mais eficientes e eficazes na realização de uma tarefa ou objetivo específico. Ele faz isso fornecendo maior transparência em torno da tomada de decisões e do fluxo do processo, o que, por sua vez, ajuda a identificar redundâncias e gargalos dentro e entre os processos (PASCOAL, 2008).

Uma vez que os mapas de processo potencializam pistas e símbolos visuais, eles tornam mais fácil comunicar um processo a um público amplo. Isso pode levar a um maior engajamento, pois a documentação de formato longo pode ser mais tediosa para os proprietários criarem e para os usuários finais consumirem (HAMANAKA et al., 2019).

Aproveitando modelos pré-fabricados dentro do software de mapeamento de processos, as equipes podem facilmente colaborar e debater maneiras de agilizar os processos de trabalho, permitindo a melhoria dos processos de negócios. Ao fazer isso, as empresas também podem lidar melhor com desafios específicos, como integração e retenção de funcionários ou vendas em declínio (MOREIRA, 2011).

### **2.3.1 Redução de perdas do setor industrial**

Antes de tudo, é necessário definir o termo produção. A literatura descreve o termo produção industrial como o processo de transformação de insumos materiais e não materiais em bens de maior produção. Devido às estruturas complexas das modernas instalações de produção, elas podem ser consideradas como sistemas. Pascoal (2008) define um sistema como um modelo de integridade com uma relação entre atributos (entradas, saídas, estados, etc.). Um meio ou um super sistema envolve essa estrutura.

O sistema de produção interage com seu ambiente natural, tecnológico, político, jurídico, econômico e sociocultural. A menor parte de um sistema de produção é o sistema operacional de trabalho independente. O REFA define um sistema operacional como um sistema que cumpre tarefas de trabalho como uma cooperação de pessoas e recursos (máquinas, materiais). Sete objetos de design adicionais são relevantes para essa interação. Isso inclui pessoas, recursos, atribuição de trabalho, fluxo de trabalho, entrada e saída, além de fatores ambientais (NEBL, 2007).

A interação desses fatores deve ser o mais eficiente possível. A eficiência pode ser dividida em eficiência técnica e eficiência de custos. A eficiência técnica é a condição em que nenhum fator de produção é desperdiçado. A eficiência econômica em termos de microeconomia pode ser vista como a realização da combinação de custo mínimo. Enquanto a eficiência econômica, nesse sentido, pressupõe eficiência técnica, a eficiência técnica não requer eficiência econômica.

A diferença entre a entrada e a saída de um sistema em funcionamento é considerada uma perda. Perdas podem ser incorridas pelo uso de todos os fatores de produção. É necessário definir os fatores de entrada com mais detalhes. Na literatura existente, os objetos de design em interação são declarados como fatores de produção.

Os economistas internacionais veem os fatores conceituais de produção como os fatores econômicos (por exemplo, trabalho, capital, terreno e empreendedorismo) definidos por Smith e Ricardo (2007). Pesquisas de negócios na Alemanha sugerem outros fatores conceituais de produção.

Gutenberg (1972), como um dos primeiros autores, definiu esses fatores. Seu trabalho é fundamental para a descrição de dependências e processos dentro de um sistema de produção. Uma visão básica da produção é o menor elemento do sistema de produção.

O sistema operacional funciona apenas com a existência dos objetos de design. Esses objetos de design podem ser classificados em grupos, como fatores elementares. Fatores elementares incluem pessoas ou mão-de-obra, máquinas e objetos de trabalho (material, suprimentos). Este grupo é apenas uma parte dos fatores majoritários de produção.

Gutenberg (1972), divide esses fatores em dois grupos principais e estrutura os fatores de entrada de acordo com a disponibilidade e a independência. O primeiro grupo inclui os fatores conceituais de produção elementares. Estes são divididos em fatores potenciais e recursos consumíveis. Embora os fatores potenciais, como mão de obra e máquinas, afetem a capacidade técnica de produção, eles não fazem parte fisicamente do produto.

Eles estão presentes na produção para criar valor. Recursos consumíveis são principalmente materiais e suprimentos usados fisicamente para produzir bens de produção. Outra classificação possível é a categorização em fatores primários e derivados. Os fatores primários são semelhantes aos fatores elementares e à liderança de fatores, que, no entanto, não é um fator elementar. Fatores derivativos incluem atividades de planejamento, organização e controle do sistema de produção e do sistema de trabalho. Eles são responsáveis pela composição dos fatores elementares no processo de produção (GUTENBERG, 1972).

Weber (2008) expande a definição de Gutenberg (1972), por fatores adicionais, nomeadamente direitos intangíveis, serviços e informações. Outra definição sobre os fatores conceituais de produção é dada por ISHIKAWA, que desenvolveu o diagrama de efeito de causa (RISCHAR e TITZE, 2002). Ele define quatro fatores principais que descrevem as condições gerais de um sistema operacional. Estes são mão de obra, máquinas, material e método (4M).

Com o tempo, outros fatores principais foram adicionados, como gerenciamento, ambiente e medida. A energia como fator adicional pertence aos fatores elementares e é classificada como suprimento. A tabela 1 mostra os fatores de produção mencionados e os respectivos autores. Para uma definição adicional das perspectivas do *scorecard* e do mapa estratégico, os fatores materiais, máquinas, mão de obra e energia são considerados essenciais para o método do *scorecard*. É possível expandir as perspectivas por outras dimensões, como atividades de controle ou organização. Dependem das perdas identificadas e dos dados registrados.

Atualmente, a indústria está enfrentando um aumento nos preços de materiais e energia, o que cria a necessidade urgente de evitar perdas no processo de produção. Especialmente as empresas do setor básico e de processo enfrentam esse desafio. Para ter uma produção eficiente, é necessário identificar todas as perdas na produção. A OHNO (2010), fundadora do sistema de produção da Toyota, determinou que as montadoras americanas e alemãs são mais produtivas do que as empresas japonesas. Ele observou que a falta de desempenho foi causada por desperdício ou perda no sistema de produção. Ele definiu sete principais perdas de produção:

- Superprodução;
- Esperando;
- Movimentos desnecessários;
- Transportando;
- Sobre processamento;

- Inventário desnecessário;
- Defeitos.

Além dessas fontes originais de perda, fontes adicionais foram identificadas. Estes podem ser encontrados em serviços e produção. Além das sete principais perdas - conhecidas como Muda, Ohno define duas fontes adicionais interligadas de perda de desempenho, a saber, Muri e Mura. Muri significa sobrecarga e Mura descreve a irregularidade (BICHENO e HOLWEG, 2008). A filosofia de manutenção produtiva total (TPM) descreve outro pacote de perdas para medir o desempenho das máquinas.

Nakajima (2006) sugere o indicador geral de eficácia do equipamento (OEE) para medir o desempenho da máquina. Esse valor combina a disponibilidade, desempenho e perdas de qualidade. Além dessas perdas devido ao desempenho das máquinas, o TPM inclui perdas de trabalho e administração humanos. Um caso descreve perdas na indústria de processo que são quase iguais às OEE (SUZUKI, 2005). Para projetar o novo modelo de *scorecard*, é necessário encontrar um link entre a FOP e as perdas.

Biedermann (2001) sugere uma classificação de perdas com base em mão de obra, máquinas, energia e material. Essa estrutura foi ampliada pelas perdas e fatores de produção mencionados acima. As primeiras dependências entre esses dois fatores são definidas por possíveis influências (GRAM, 2011). Nessa base, é possível elaborar um sistema métrico para reduzir as perdas na produção. O apêndice resume todas as perdas mencionadas neste estudo. Para esse fim, a abordagem do *scorecard* precisa de uma adaptação.

## 2.4 MELHORIA CONTÍNUA DE PROCESSOS

Nos dias atuais, melhorar a qualidade é um problema recorrente para as empresas. A otimização desse processo muitas vezes é responsabilidade do gerente de melhoria contínua. A melhoria contínua é uma abordagem essencial para garantir a sustentabilidade dos sistemas de gestão e a melhoria do desempenho (MESQUITA e ALLIPRANDINI, 2003).

Num contexto em constante mudança, cada vez mais exigente e com o aumento da concorrência, é fundamental que cada empresa implemente ações que lhe permitam melhorar continuamente. Essas ações respondem a oportunidades de melhoria e devem trazer resultados quantificáveis para toda a organização. A empresa é um sistema vivo, e a abordagem de melhoria contínua ajuda a estruturar essa dinâmica, definindo uma estrutura para a implementação dessas ações (JUNIOR, DE LIMA e STOCO, 2020).

A abordagem de melhoria contínua consiste em realizar ações permanentes e sustentáveis para melhorar todos os processos da empresa, eliminando falhas e fortalecendo os ativos que geram valor. Isso permite reavaliar regularmente as práticas integradas, questionar os processos e desenvolver a empresa de forma sustentável (GONZALEZ e MARTINS, 2007).

A integração de um processo de melhoria contínua na cultura da sua empresa permitirá aumentar gradualmente o crescimento e desempenho em todos os níveis da organização, reduzir custos e melhorar a eficiência, produtividade e rentabilidade da sua empresa. A melhoria contínua também é um dos principais princípios do padrão do Sistema de Gestão da Qualidade ISO 9001 (LOUSAS, 2018).

Como 5º pilar da gestão da qualidade, de acordo com a norma internacional ISO 9001, a melhoria contínua é uma abordagem operacional que visa reduzir gradualmente as disfunções dos processos de uma empresa, a insatisfação dos seus clientes ou mesmo os riscos. Gradual, focado na criação de valor e redução de desperdícios, logicamente não requer investimentos significativos nem convulsões organizacionais que possam atrapalhar as equipes. Por outro lado, os seus efeitos só se fazem sentir a médio e longo prazo (JUNIOR, DE LIMA e STOCO, 2020).

A melhoria contínua opõe-se, assim, ao princípio da reengenharia de processos ou inovação radical, que implica a existência de uma mudança brusca, por vezes em ruptura total com os processos, práticas e tecnologias utilizadas até agora na empresa (MESQUITA e ALLIPRANDINI, 2003).

A melhoria contínua é uma abordagem global, envolvendo o uso de um certo número de ferramentas, adaptadas ao contexto ou ao objetivo perseguido. Assim, a melhoria contínua é um método de gestão que favorece a adoção de melhorias graduais que fazem parte de uma busca diária de eficiência e progresso, apelando à criatividade de todos os atores da organização (LOUSAS, 2018).

Segue como princípio a teoria dos pequenos passos, visando o progresso constante e regular, o que não exclui, porém, o progresso espetacular (avanços). Implica também uma mudança de cultura baseada no desenvolvimento de habilidades de resolução de problemas, o que supõe um efeito de massa (GONZALEZ e MARTINS, 2007).

Para estabelecer um ambiente propício à mudança, o líder deve se engajar pessoalmente no processo, ou seja, dar o exemplo para seus colaboradores e demonstrar a eles a importância da melhoria contínua para a organização. Além disso, para garantir a adesão de seus colaboradores às melhorias planejadas, ele deve fornecer-lhes os meios adequados (tempo,

dinheiro e suporte) e demonstrar sua abertura às ideias e iniciativas dos membros de sua equipe (JUNIOR, DE LIMA e STOCO, 2020).

Em uma organização que visa melhorar, os funcionários, vistos como especialistas em seu trabalho, estão na melhor posição para apresentar ideias de melhoria. Portanto, deve ter um programa que permita definir e propor facilmente suas ideias de melhoria (MESQUITA e ALLIPRANDINI, 2003).

Aqui está um modelo de melhoria contínua que permite que uma empresa se estruture e crie um ambiente que estimule o desenvolvimento dos colaboradores. Este modelo é composto por seis elementos (LOUSAS, 2018):

- A visão (objetivos estratégicos), que garante que cada ação seja justificada e contribua para alcançar o resultado esperado;
- A organização, que considera o colaborador pelo seu justo valor e permite que ele se desenvolva;
- O programa de melhoria, que determina e prioriza as ações (inovação, workshop kaizen, método 5S, método SMED ou outros, pequenas sugestões de melhorias etc.);
- Treinamento, que permite que as ações sejam realizadas;
- Acompanhamento do progresso por meio de indicadores de desempenho (clientes, resultados e processos);
- Reconhecimento do trabalho realizado pelos funcionários.

## 2.5 DMAIC

O ciclo DMAIC, em inglês (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*), é um processo ou método comum que os membros das equipes de melhoria podem utilizar para facilitar o seu trabalho. É uma ferramenta flexível, para que as melhorias aconteçam e sejam sustentadas.

A metodologia DMAIC é o resultado da junção de duas metodologias: *Lean*, originada no Japão nos anos 50 e aperfeiçoada pela Toyota e o *Six Sigma*, originado nos anos 80 com a Motorola e aperfeiçoado pela *General Electric* (GE). A primeira trazia o foco no aumento da velocidade do processo e a segunda, na sua precisão e acurácia (ARAUJO et al., 2006).

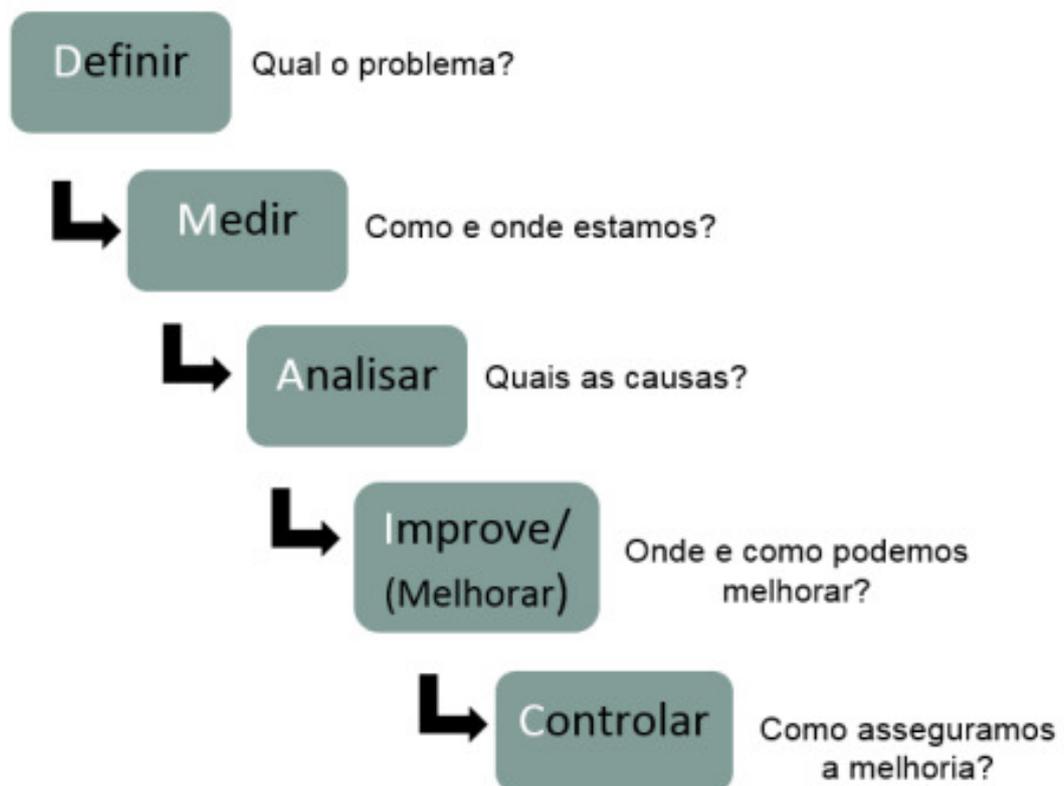
Os principais benefícios da utilização do *Six Sigma* é, conseguir reduzir custos organizacionais, aumentar a qualidade dos produtos/serviços/processos, reter e fidelizar clientes, eliminar atividades que não agregam valor, prover maior envolvimento das equipes e, principalmente, realizar uma mudança cultural (PEINADO et al., 2007).

O *Lean Six Sigma* (LSS) é, portanto, uma metodologia disciplinada de melhoria, onde o foco está na eliminação, ou ao menos na redução a níveis mínimos, de defeitos e desperdícios, e no aumento da velocidade dos processos. Em suma, fazer mais com menos e melhor (VERGUEIRO, 2002).

O DMAIC é uma metodologia predeterminada e decomposta em cinco etapas padronizadas definir, medir, analisar, implementar e controlar (KUAN, 2012). Analisando essas etapas, nota-se que as cinco etapas são interdependentes. Cada etapa tem um efeito cumulativo sobre a anterior. (MANDAL, 2012).

A figura 2.5 a seguir apresenta um fluxograma resumo do DMAIC.

Figura 2.5- Fluxograma DMAIC



Fonte: TRESOLDI (2019).

As etapas do DMAIC são apresentadas nos itens a seguir.

### 2.5.1 Definir

A etapa Definir inicia com a indicação da equipe bem como suas obrigações, o escopo do projeto, o cronograma, a finalidade e o impacto financeiro previsto. (MIM, 2014). O processo inicia-se identificando e definindo o processo, o problema ou a oportunidade de melhoria a ser implementada.

É recomendado apontar os processos críticos responsáveis pela origem de resultados insatisfatórios nesta etapa, como por exemplo: reclamações de clientes e internas, altos custos de mão de obra, custos de não qualidade, alto índice de scrap, etc.

### **2.5.2. Medir**

De acordo com Lin et al (2013), o intuito desta fase é estabelecer técnicas para coletar dados acerca do desempenho atual do setor em estudo. A coleta é feita através de análises qualitativas e quantitativas mediante a indicadores de desempenho, análises de sistema de medição, entrevistas, etc.

Segundo Kuan (2012) é nesta etapa que são definidos aspectos críticos para a qualidade, em variável de processo. Os dados coletados devem conter informações que evidenciem oportunidades de melhoria. Aspectos do processo que não foram notados anteriormente devem ter especial atenção já que nunca foram identificados como possível falha.

Os dados levantados serão imprescindíveis para ratificar e quantificar o problema e/ou a oportunidade, visando determinar as prioridades e as tomadas de decisões (LIN et al 2013).

### **2.5.3 Analisar**

Segundo Jaglan (2012), a fase Analisar tem como finalidade, indicar variáveis que podem interferir nos indicadores do processo. Por essa razão, os dados coletados na etapa anterior (Medir) são examinados por meio de ferramentas estatísticas que contribuem para as análises.

O principal objetivo desta fase é definir a causa raiz do problema, sendo de extrema importância a elaboração de um plano de ação que interfira de forma direta na causa real do problema, e não somente nos possíveis efeitos (MIM, 2014).

### **2.5.4 Melhorar**

Após todas as informações serem analisadas e os possíveis problemas apresentados, define-se a melhor ação com objetivo de diminuir os níveis de falha do processo. Segundo Santos (2006), a confirmação de melhoria do processo está relacionada a uma solução adequada para eliminar e prevenir que ocorram novos problemas.

### **2.5.5 Controlar**

Na última etapa do processo DMAIC é validada a implantação da melhoria, a solução dos problemas, a comprovação dos benefícios, executadas as modificações necessárias no processo em geral e implantadas as ferramentas de controle necessárias (MATOS, 2003).

## 2.6 PRINCIPAIS FERRAMENTAS ÚTEIS

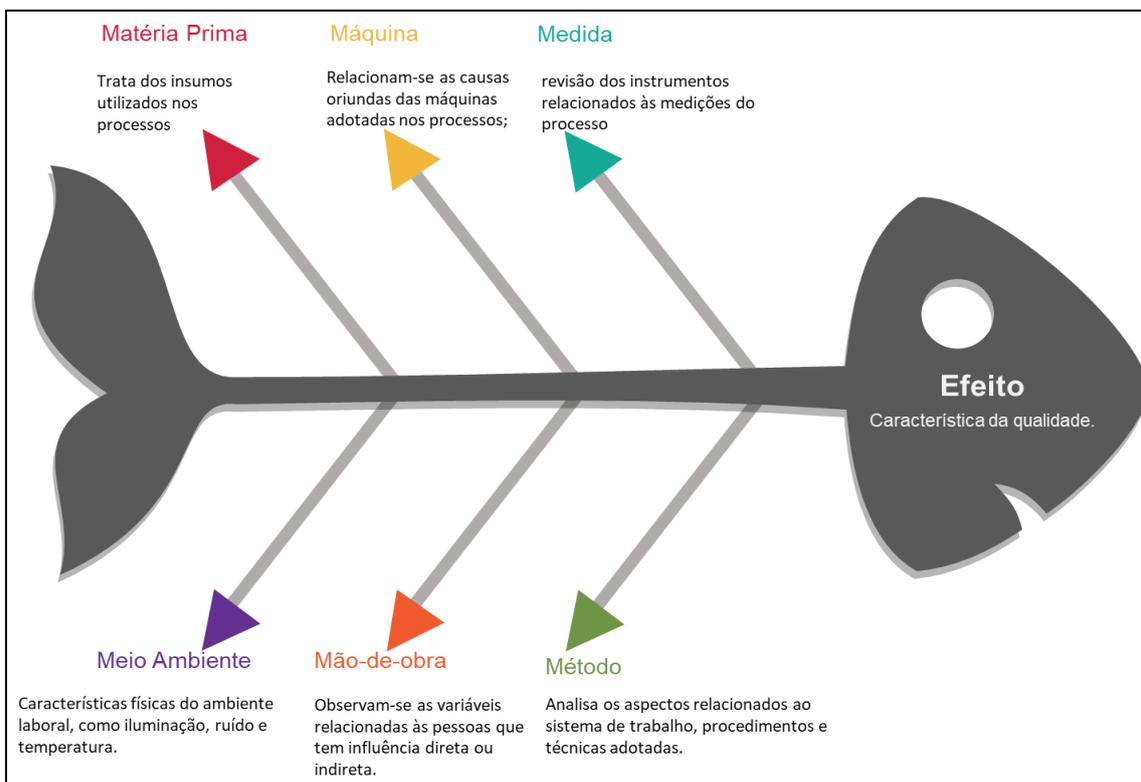
### 2.6.1 Diagrama de Causa e Efeito

Chamado de também espinha de peixe ou Diagrama de Ishikawa, o diagrama de Causa e efeito representa a visualização de um processo de solução de problemas no qual as causas de um problema são procuradas analiticamente, decompondo as causas-raiz até que a raiz do problema seja alcançada. O diagrama de causa e efeito pode dar uma contribuição valiosa durante a análise no estado em que se encontra. Ele pode determinar a determinação sistemática e detalhada das causas dos problemas, bem como para a análise dos processos (BALLESTERO-ALVAREZ, 2010).

O diagrama de Ishikawa foi desenvolvido pelo cientista japonês Kaoru Ishikawa no início da década de 1940 e mais tarde nomeado em sua homenagem. Esta técnica foi originalmente usada na gestão da qualidade para analisar problemas de qualidade (origem: abordagem espinha de peixe) e suas causas. Hoje também pode ser transferido para outras áreas problemáticas e se espalhou pelo mundo.

Em relação aos fatores abordados, tem-se os seguintes desencadeadores para cada tipo, conforme figura 2.5.1 a seguir.

Figura 2.5.1- Diagrama de causa e efeito



Fonte: BALLESTERO-ALVAREZ (2010).

Segundo Carpinetti (2012) quando usada para análise de processos, a seta principal tem o resultado do processo no topo em vez do problema, enquanto as "espinhas de peixe" ou "ramos" individuais representam as atividades em ordem hierárquica. O método pode ser realizado sozinho ou como trabalho em grupo, devendo também aqui ser aproveitadas as vantagens dos processos de dinâmica de grupo. O uso no contexto de estudos organizacionais geralmente ocorre como trabalho em grupo em oficinas. Ao trazer terceiros, torna-se possível uma visão multifacetada.

### 2.6.2 Matriz GUT

A Matriz GUT é uma ferramenta de priorização de resolução de problemas. O GUT é um acrônimo que separa os problemas por (PESTANA, 2016):

- Gravidade;
- Urgência;
- Tendência;

A técnica surgiu em 1981, graças ao trabalho de dois especialistas em resolução de problemas: Charles H. Kepner e Benjamin B. Tregoe. Eles colocaram a matriz em prática devido à necessidade de orientação mais detalhada sobre questões complexas. A ideia foi priorizar os desafios, levando em consideração os impactos positivos e negativos no negócio. Como citado, a matriz GUT consiste em três elementos, sendo eles (COSTA, 2017):

- Gravidade - Sabe-se que um pequeno problema pode se tornar um grande problema se não for resolvido prontamente. Portanto, o primeiro ponto é a gravidade, em que se analisa a verdadeira extensão do problema, bem como seu potencial de geração de impactos negativos;
- Urgência - Este está atrelado ao tempo, ou seja, à prioridade do problema, levando em consideração os prazos para que o problema seja resolvido. Se algo é urgente, se tem menos tempo para resolver – e vice-versa;
- Tendência - Avaliar a probabilidade de o problema piorar se nada for feito para resolvê-lo. Para isso, é necessário levar em conta um padrão de desenvolvimento (tendência).

Todos esses elementos são subdivididos em escalas que variam de 1 a 5; onde 1 representa uma situação leve, enquanto 5 indica algo complexo, cada acrônimo tem sua classificação, são elas (PESTANA, 2016):

- Gravidade: 1) Sem gravidade; 2) Pouco grave; 3) Grave; 4) Muito grave; 5) Extremamente grave;

- Urgência: 1) Pode esperar; 2) Pouco urgente; 3) Urgente, merece atenção no curto prazo; 4) Muito urgente; 5) Necessidade de ação imediata;
- Tendência: 1) Não mudará; 2) Vai piorar em longo prazo; 3) Vai piorar em médio prazo; 4) Vai piorar em curto prazo; 5) Vai piorar rapidamente.

Ao utilizar a matriz GUT, fica mais fácil entender os pontos fortes e fracos da gestão de um determinado negócio e o que precisa ser melhorado e resolvido para que o negócio não seja afetado (AGUIAR, 2014).

O uso da matriz servirá de base para que se possa alinhar o planejamento às necessidades empresariais da melhor forma possível. Com isso, é possível gerenciar o empreendimento com mais eficiência, independente da complexidade do negócio. Além disso, a matriz é uma fonte de informações para que se possa agir contra as falhas constantes a fim de mitigá-las (COSTA, 2017).

### **2.6.3 Diagrama de Pareto**

O Diagrama de Pareto, assim como o diagrama de Ishikawa e outras ferramentas de *Lean Production*, é um gráfico que representa a importância das diferenças causadas por um determinado fenômeno e é útil para visualizar os elementos relevantes de um sistema (SILVA, 2019).

O diagrama de Pareto, composto por uma série de barras cuja altura contém a frequência ou impacto dos problemas onde na linha de abcissa se contra as causas e na linha ordenada sua incidência em porcentagem. O gráfico é útil para analisar a dinâmica de um tipo de atividade e agrupá-la de acordo com os efeitos observados (RODRIGUES, 2015).

Através do diagrama é possível associar causas e efeitos, permitindo identificar as prioridades de intervenção em bases objetivas, e não em sensações devido à urgência do momento. O gráfico destaca, entre uma série de causas, aquelas que têm maior impacto no fenômeno considerado. Pode ser uma ferramenta útil e suporte para a resolução de problemas (NEUMANN et al., 2013).

Esta ferramenta destaca os aspectos mais relevantes do que está sendo analisado permitindo a visualização em um relance juntamente com as tabelas dinâmicas e a função de busca vertical, representa um método visual e imediato de análise e visualização de dados (SILVA, 2019).

### 2.6.4 5W2H

De fácil utilização e compreensão a ferramenta 5W2H nada mais é do que a nomenclatura das sete perguntas em inglês: What? (O quê?), Where? (Onde?), Who? (Quem?), Why? (Por quê?), When? (Quando?), How? (Como?) e How Much? (Quanto custa?).

Com vasta utilização como meio de planejamento e organização de plano de ação, a ferramenta consiste em um conjunto de orientações de ações que devem ser executadas e implementadas para controle e desenvolvimento de projetos desenvolvidos (BRUM, 2013).

A metodologia, de acordo com Brum (2013), consegue promover respostas curtas e diretas para estruturação de um planejamento de ação, de forma a facilitar o gerenciamento de processos e informações. A Figura 2.5.4 resume os passos com detalhes da funcionalidade da metodologia

Figura 2.5.4- Resumo 5W2H

<b>Passos</b>	<b>Conteúdo das respostas</b>	<b>Exemplo de perguntas</b>
What	Ações necessárias ao tema analisado	-O que deve ser ou está sendo feito? -Quais os insumos do problema/processo? -O que se pretende extrair do problema/processo? -Quais os métodos, materiais e tecnologias que devem ser utilizados?
Why	Justificativas das ações	-Por que ocorre este problema? -Por que executar desta forma? -Para que atuar neste problema?
Where	Locais influenciados pelas ações	-Onde ocorre/ocorreu o problema? -Onde é preciso atuar para corrigir o problema?
Who	Responsabilidades pelas ações	-Quem são os agentes envolvidos? -Quem conhece melhor o processo? -Quais pessoas deverão executar o plano de ação?
When	Definir prazos	-Quando começar e terminar? -Quando deverão ser executadas cada etapa do plano?
How	Métodos a serem utilizados	-Como será executado o plano? -Como registrar as informações necessárias? -Como definir as etapas do processo?
How Much	Definir orçamento	-Quanto será o custo envolvido? -Quanto custará os recursos necessários? -Quanto custa corrigir o problema?

Fonte: BRUM (2013)

## CAPÍTULO 3

---

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 MATERIAIS

Para o presente trabalho foram utilizados os seguintes materiais:

- Computador, com MATLAB instalado, para o desenvolvimento da lógica Fuzzy e escrita do trabalho.
- Paquímetro, para medição de peças.
- Medidor de torque e ângulo, fornecido pela empresa, acoplado na parafusadeira.

#### 3.2 MÉTODOS

A presente pesquisa é um estudo de caso, que visa aplicar a ferramenta DMAIC em um procedimento específico, que é o parafusamento de placas eletrônicas de um painel automotivo de uma empresa do Polo Industrial de Manaus.

Segundo Lakatos (2011) uma grande utilidade dos estudos de caso é verificada nas pesquisas exploratórias, como o presente estudo.

##### 3.2.1 Caracterização da empresa.

A empresa onde o estudo foi aplicado está sediada no Polo Industrial de Manaus. Embora tenha sido fundada no Brasil em 1998, esta unidade foi instalada em Manaus no ano de 2009. A empresa opera no setor de Manufatura de outros equipamentos e componentes elétricos automotivos.

O faturamento anual da empresa é de cerca de R\$ 171.000.000,00 (cento e setenta e um milhões de reais). O nome da fábrica não será divulgado por ausência de autorização para tal, por isso, ela será denominada Empresa neste estudo.

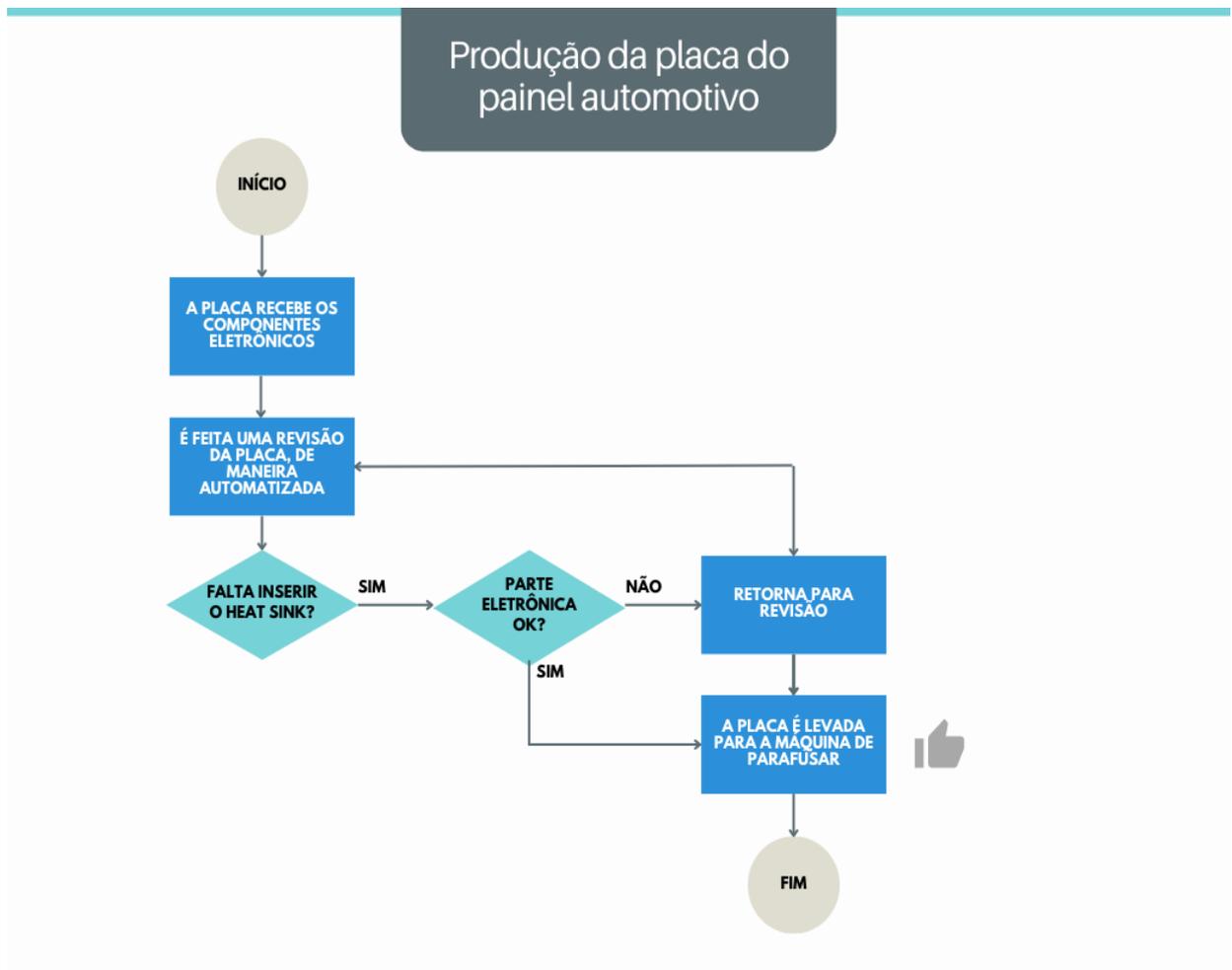
##### 3.2.2 Procedimentos da pesquisa

Para a realização deste estudo, foi necessário realizar primeiramente uma visita à empresa. Através de um dos engenheiros, foram apresentadas algumas situações-problema que aconteciam na produção da fábrica, e dentre aqueles evidenciados, escolhemos o problema com parafusamento das placas, pois era o problema que tinha ferramentas de fácil acesso à disposição.

Assim, fomos convidados pelo time de engenharia da empresa para aplicar a ferramenta DMAIC, que já era uma solução conhecida por eles, para o acompanhamento do caso.

De maneira resumida, apresentamos o processo de produção da placa eletrônica e o local onde se encontrava o problema, na figura 3.2.2.a a seguir.

Figura 3.3.2.a- Produção da placa



Como é possível verificar, não há revisão da parte mecânica, que é o parafusamento. Além disso, o *heat sink* é fornecido por uma empresa externa, a quem é dada todas as especificações para tal. Cabe destacar que o *heat sink* é importante para a placa pois ele é responsável por auxiliar na dissipação do calor, evitando que determinados componentes fiquem sobreaquecidos, o que poderia danificá-los ou gerar resultados eletrônicos inadequados.

Como já apresentado, neste processo de parafusamento, quando a placa estava já montada e com os elementos mais caros do painel inseridos (processadores, sensores eletrônicos e etc.), uma falha fazia com que o parafuso não fosse devidamente inserindo, quebrando a placa.

Identificado o problema, passamos a aplicar a ferramenta DMAIC para sua análise, desenvolvimento e proposta de soluções. A figura 3.2.2.b mostra então qual o procedimento tomado neste estudo.

Figura 3.3.2.b- Procedimentos da Pesquisa



Como ilustrado acima, o primeiro passo foi reunir com a equipe de engenharia da empresa para selecionar um problema. Selecionado o problema que envolvia uma placa de painel automotivo, detectamos que o defeito acontecia na fase de parafusamento de um *heat sink*.

Após essa definição, decidimos aplicar a ferramenta DMAIC para acompanhamento e solução do caso, pois a ferramenta é conhecida e de fácil aplicação. Nas fases Definir e Medir, fizemos visitas à empresa, para proceder com a metodologia. O primeiro passo, conforme explicitado no DMAIC é definir o problema.

Nas fases Analisar e Melhorar, utilizamos ferramentas para auxiliar a aplicação do DMAIC. Aqui, utilizamos tanto o diagrama de causa e efeito para identificar o problema raiz como a ferramenta 5W2H para elaboração do plano de ação.

Na fase Controlar, a empresa utilizou o plano de ação proposto e designou pessoal para acompanhamento das atividades. Dessa forma, a empresa utilizou uma ferramenta de análise do torque e ângulo da parafusadeira disponível, gerado por um sistema de controle que a própria máquina possui.

Com isso, foi possível verificar se o processo de parafusamento estava sendo feito de maneira correta ou não.

Finalmente, a fim de validar as ações tomadas pela empresa na fase controlar, elaboramos uma inferência, com base na lógica Fuzzy para certificar que as decisões tomadas tinham coerência com as variáveis identificadas no problema.

## CAPÍTULO 4

---

### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para esse estudo, utilizamos a ferramenta DMAIC como método. Como já citado, o DMAIC é uma metodologia disciplinada de melhoria, onde o foco está na eliminação, ou ao menos na redução a níveis mínimos, de defeitos e desperdícios, e no aumento da velocidade dos processos. Para o presente caso, entende-se que esta metodologia é a mais adequada, além de também ser de fácil domínio do pesquisador. Assim, definida a metodologia, apresentamos a seguir o desdobramento de sua aplicação.

#### 4.1 DEFINIR (DEFINE)

A primeira parte da aplicação da ferramenta DMAIC é justamente definir o problema. Dessa forma, foi identificado um alto índice de rejeitos no processo relacionado ao parafusamento do *heat sink*, afetando o rate hora e o scrap. A figura 4.1 abaixo mostra a parafusadeira, local onde aconteceu o problema.

Figura 4.1 - Parafusadeira



A figura 4.1 acima mostra o gabinete onde a empresa faz o parafusamento da placa. De modo resumido, explicamos o procedimento: a peça automotiva, que compõe o painel dos veículos que a empresa fabrica, é basicamente feita de componentes eletrônicos tais como microprocessador, display, elementos lógicos, componentes resistivos, capacitivos, transistores e etc.

Depois de todo o procedimento próprio de fabricação desses circuitos, a peça é retirada da linha e levada para o gabinete mostrado na figura 4.1, onde alguns parafusamentos serão realizados, entre eles o do dissipador de calor em questão.

Neste ponto da produção, já bem adiantado, é que os responsáveis identificaram falhas no dimensionamento dos furos, pois as peças começaram a quebrar devido ao processo mecânico do parafusamento.

**4.2 MEDIR (MEASURE)**

No processo de medição, foi levantada a hipótese de que o *heat sink* poderia ter sido fabricado fora das especificações determinadas em projeto. As figuras 4.2.a e 4.2.b, a seguir, nos mostram que o diâmetro do furo onde deveria ser inserido o parafuso é de 2,2 milímetros, com margem de mais ou menos 0,12 milímetros de erro (etiqueta 0205 na figura). Dessa forma, de posse do projeto, que representa as dimensões ideais da peça, pode-se comparar o projeto com a peça física.

Figura 4.2.a - Dimensional nas peças Heat Sink

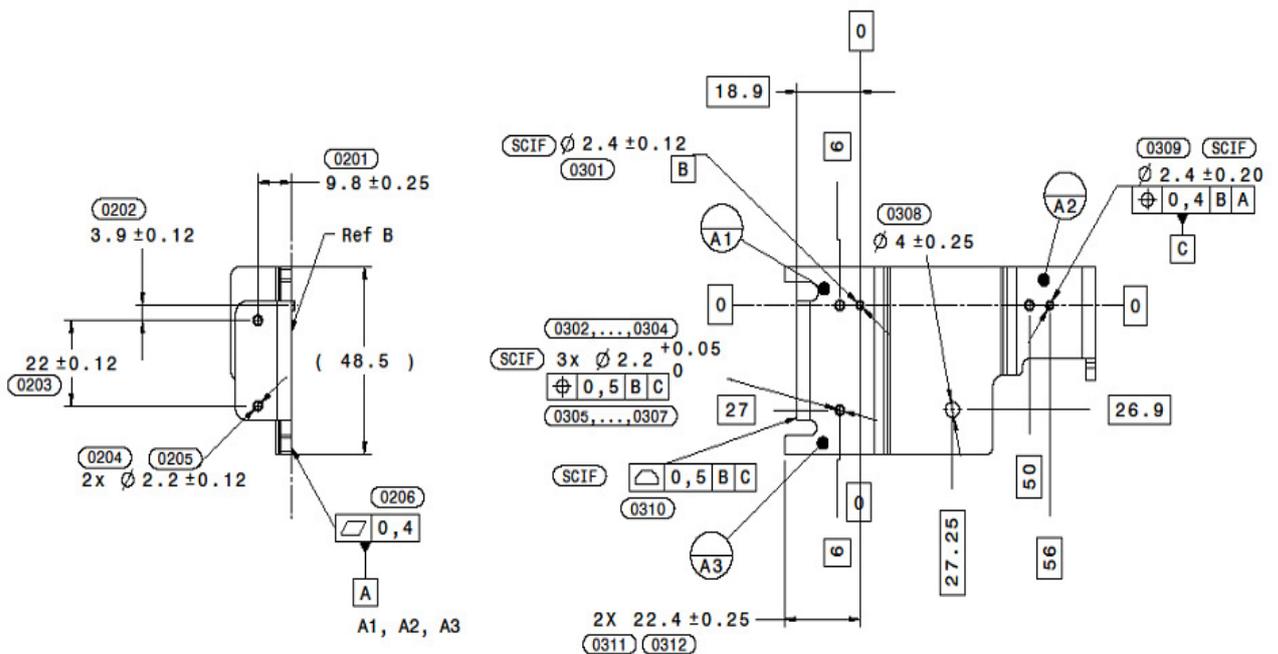
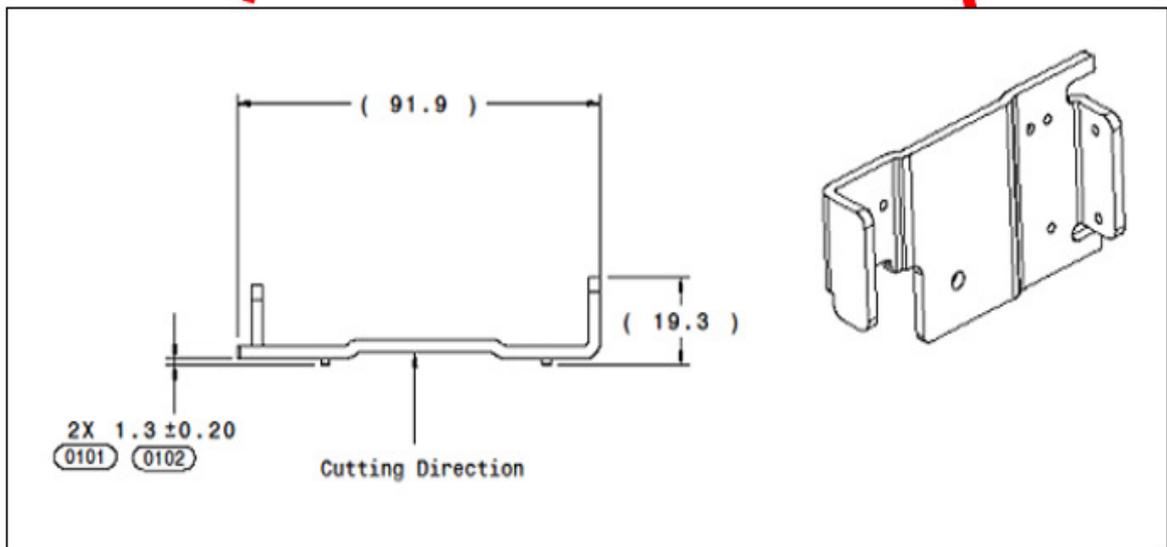
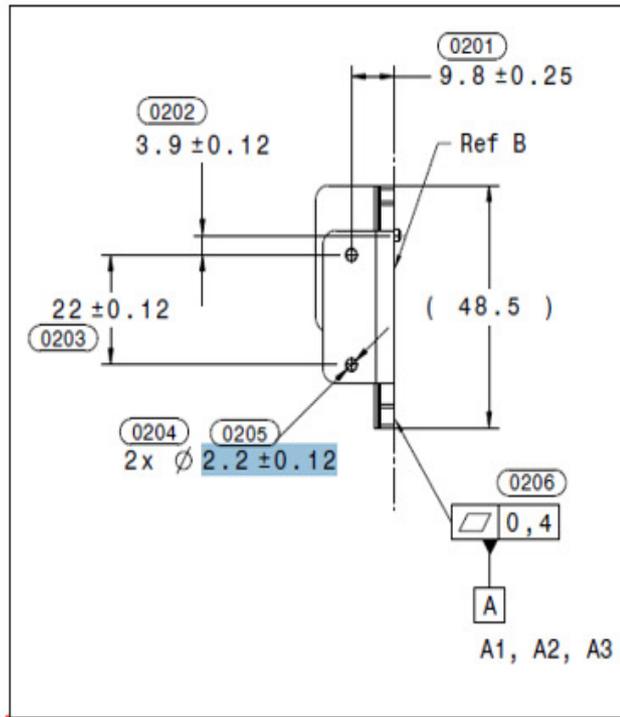


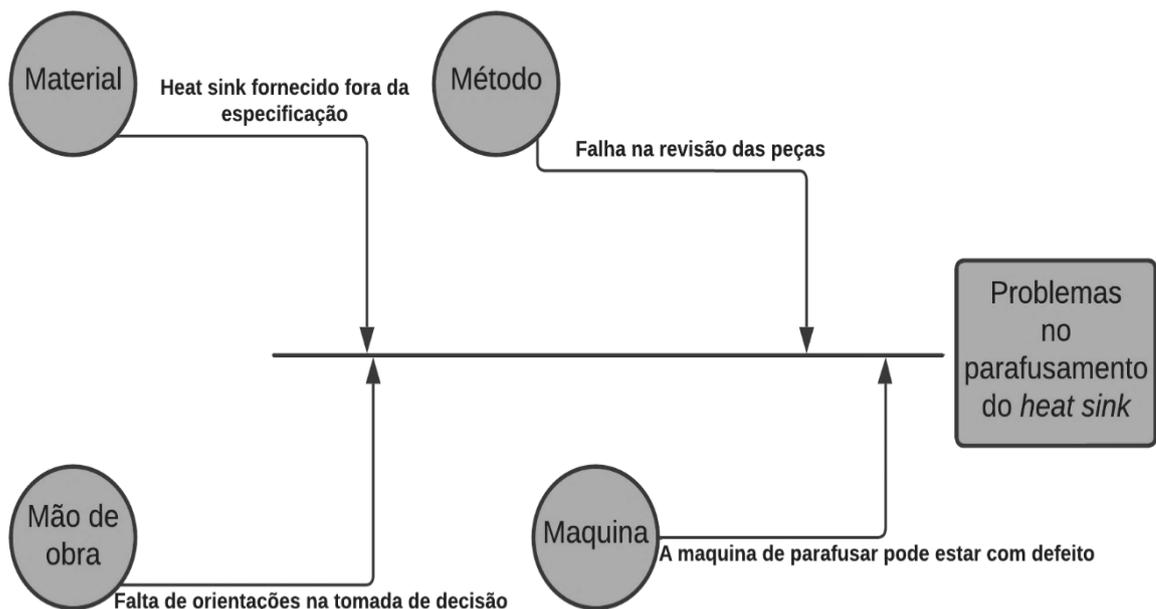
Figura 4.2.b - Dimensional nas peças Heat Sink



### 4.3 ANALISAR (ANALYZE)

Seguindo com a ferramenta DMAIC, foi realizada a etapa de análise de dados (*Analyze*), onde foi realizada análise dos fatores que podem causar parafuso espanado. Para melhor representar estes fatores, utilizamos um diagrama de causa e efeito, conforme figura 4.3

Figura 4.3 – Diagrama de causa e efeito.



Nesta análise, identificamos que uma causa relacionada a material pode ser o fornecimento do *heat sink* fora das especificações. Vale destacar que a empresa não fabrica este dissipador metálico, mas o recebe de um fornecedor terceirizado, que deve seguir o projeto de maneira adequada.

Dito isso, pode-se relacionar como uma possível causa de método a falha na revisão das peças. Se a peça é oriunda de um fornecedor externo, deveria existir um procedimento de revisão que verificasse se o produto foi entregue conforme especificado.

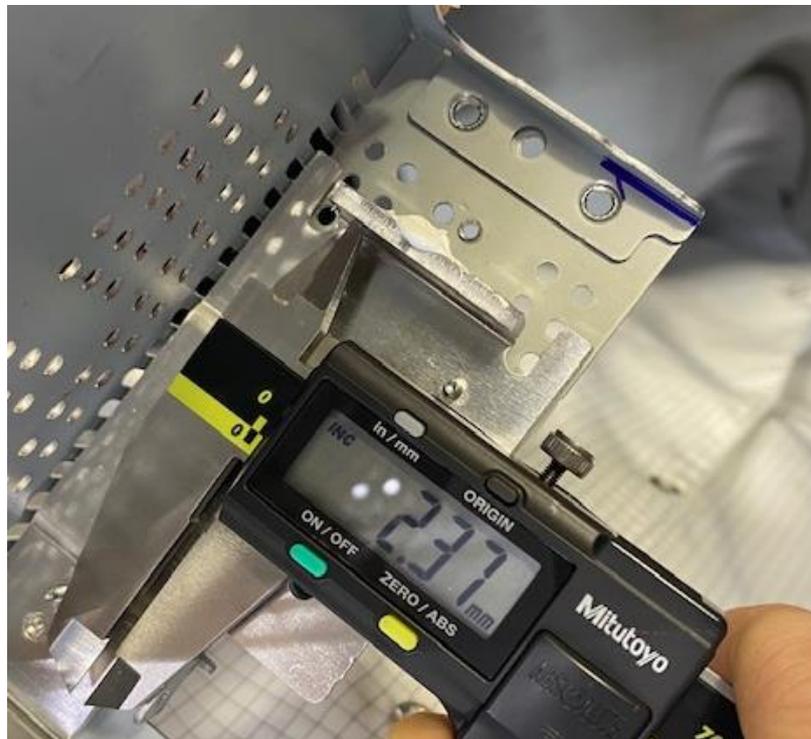
Além disso, relacionamos com uma possível causa de máquina algum possível defeito que o gabinete apresentado na figura 4.1 pode possuir, resultando numa má operação de parafusamento.

Finalmente, relacionado a mão de obra, relacionamos como possível causa a falta de orientações na tomada de decisão do processo, tendo em vista que podem não existir parâmetros claros sobre como proceder quando surge um defeito deste tipo na placa.

#### 4.4 IMPLEMENTAR (IMPROVE)

Nesta fase da nossa metodologia, recebemos da empresa a confirmação de que a causa raiz do problema foi no material, especificamente no *heat sink* produzido fora das especificações.

Figura 4.4.a - Furo lado externo de uma peça de dissipador



Como é possível ver nas figuras 4.4.a e 4.4.b a seguir, uma simples medição demonstra que o projeto do dissipador de calor não está de acordo com o grifado na figura 4.2.b apresentada anteriormente.

Figura 4.4.b - Furo lado externo (direita nesta visada).



Comparando o que é apresentado pelas figuras 4.4.a e 4.4.b com as especificações mostradas na figura 4.2.b, observamos que o furo, por onde é feito o parafusamento da peça, foi fabricado fora das margens de tolerância superior ( $2,2 + 0,12$  mm). Assim ficou comprovado que o defeito na peça é uma das causas raízes do problema.

Além disso, associamos nesta pesquisa um problema de falha na revisão das peças como uma das causas do problema. Assim, foi criado o seguinte plano de ação, conforme a Tabela 1:

Tabela 1: Plano de ação

O quê?	Por quê?	Como?	Onde?	Quem?	Quando?	Quanto?
Confecção do heat sink dentro das normas	A falha causou paralisação na produção	Reenvio das especificações e do projeto dimensional da peça	Fabricante externo	O fabricante externo deverá providenciar a fabricação das peças novas	Imediato	Valor já contratado, sem necessidade de adicional
Revisão interna das peças	A falta de revisão causou uso de peça inadequada	Utilizar instrumentos de medição adequados (paquímetro, etc.)	No recebimento das peças dentro da empresa	Time de Engenharia e Qualidade	Imediato, no recebimento das peças	Sem custos adicionais.

Como já explicitado na seção anterior, este estudo de caso utiliza a ferramenta DMAIC. Nas fases anteriores, foi possível observar que:

- a) Definir: alto índice de rejeitos no processo relacionado ao parafusamento do *heat sink*
- b) Medir: o *heat sink* pode ter sido fabricado fora das especificações
- c) Analisar: entre as causas potenciais, identificamos duas - a peça defeituosa foi fabricada fora das especificações por um fornecedor externo e há falha na revisão deste item.
- d) Implementar: Foi criado um plano de ação para solucionar a questão

Tendo sido exposta, de maneira resumida, a utilização da ferramenta DMAIC até aqui, trataremos como resultados e discussão os dados obtidos da execução do plano de ação, bem como o que foi obtido na fase de Controle.

#### **4.5 CONTROLAR (CONTROL)**

Na fase de controle, faz-se necessário acompanhar o plano de ação e estabelecer critérios para o controle. Desse modo, com o plano de ação proposto na tabela 1, foram realizadas as seguintes ações de controle:

##### **4.5.1 Análise gráfica de torque e ângulo**

Uma das formas de se verificar se o parafusamento está sendo feito de maneira adequada é observando se existe torque neste processo, uma vez que, com um furo acima do especificado o atrito entre o parafuso e o *heat sink* será mínimo. Isto foi comprovado através da figura 4.5.1.a a seguir, com uma peça defeituosa.

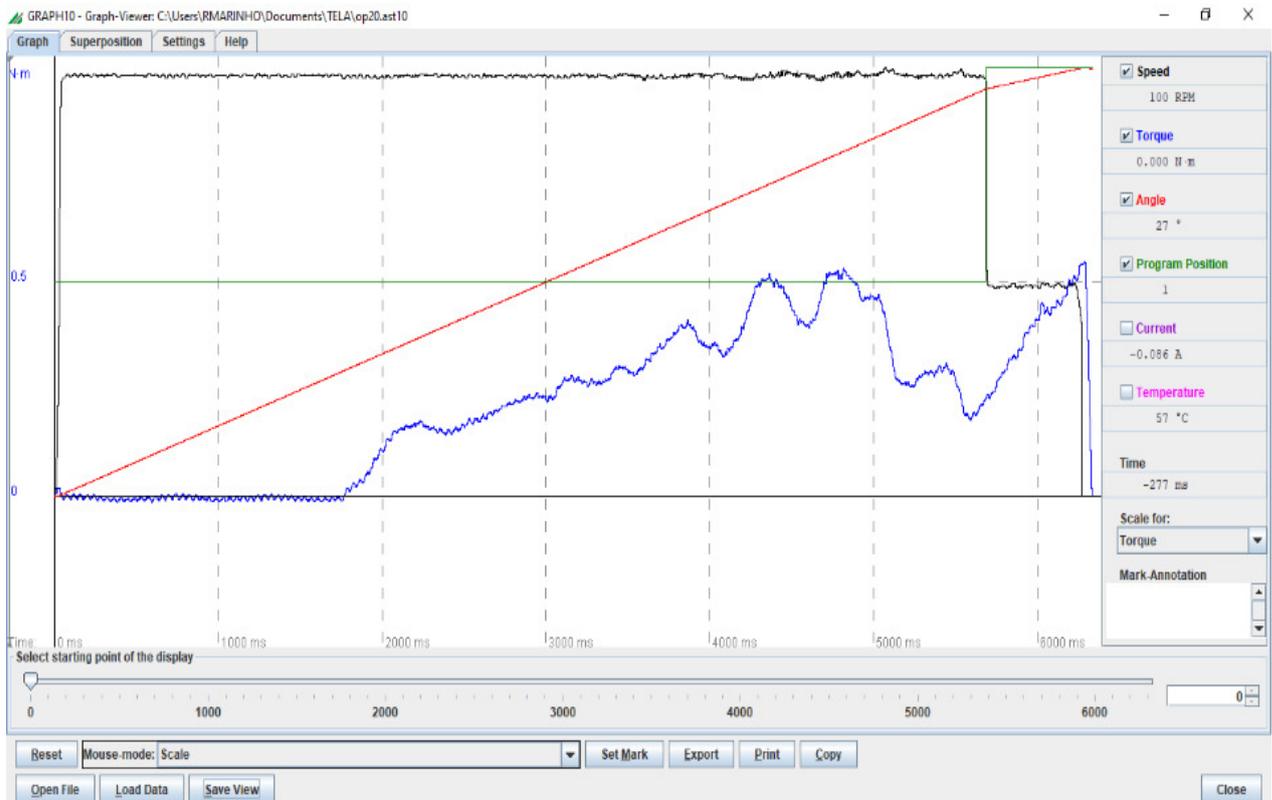
Figura 4.5.1.a - Estudo na curva única de torque x ângulo do parafusamento



A figura 4.5.1.a nos revela que o torque da parafusadeira é baixo (linha azul), comprovando que a peça defeituosa não consegue ser fixada na placa. Além disso, o ângulo (linha vermelha), não desenvolve uma única reta (ou seja, um mesmo coeficiente angular), o que nos indica que o parafuso “espanou”, danificando a placa.

Após uma seleção de peças dentro das especificações, foi feito um novo gráfico, com *heat sink* adequado, e que está mostrado na figura 4.5.1.b a seguir:

Figura 4.5.1.b - Nova curva de torque x ângulo controlando torque para abertura de rosca no heat sink e controle de ângulo.



Observa-se que o torque aumentou, indicando que o parafusamento aconteceu de maneira adequada. Além disso, a curva de ângulo formou uma reta com coeficiente angular definido, comprovando que a parafusadeira realizou seu procedimento dentro do esperado.

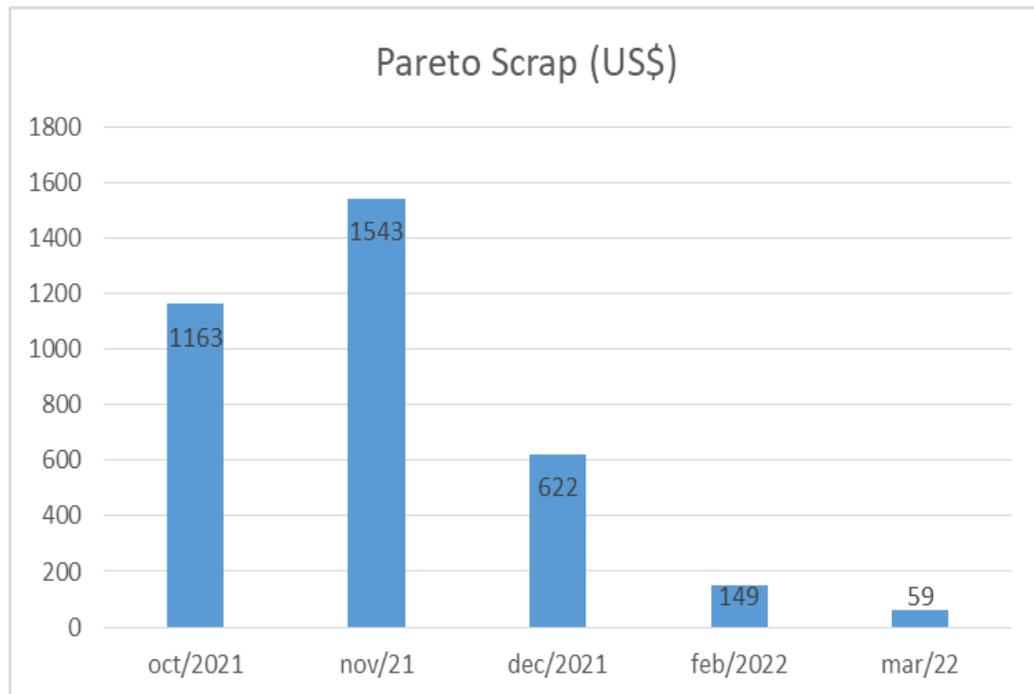
#### 4.5.2 Acompanhamento dos novos heat sink fabricados

Seguindo o proposto no plano de ação, a empresa passou a inspecionar, de maneira amostral, a qualidade dos novos dissipadores de calor. Dessa forma, a cada mil unidades, foi deliberado que 10 seriam inspecionados. Além disso, o fornecedor externo deu garantias de cumprimento do projeto.

#### 4.5.3 Acompanhamento do índice de falhas

A empresa forneceu a figura 4.5.3 a seguir, onde é apresentado o resultado das intervenções para solução do problema.

Figura 4.5.3 - Pareto total de falhas relacionado aos meses.



Na figura 4.5.3 é possível observar que quando as ações de controle foram implementadas, o scrap (número de placas danificadas) foi caindo gradativamente. Além disso, a empresa também forneceu os resultados financeiros da intervenção, conforme a tabela 2 a seguir:

Tabela 2: Perdas financeiras do defeito do *heat sink*

MÊS	VALOR PERDIDO
Outubro/2021	US\$ 12.058,50
Novembro/2022	US\$ 16.016,34
Dezembro/2022	US\$ 6.456,36
Fevereiro/2022	US\$ 1.804,69
Março/2022	US\$ 639,58

Como apresentado na tabela 2, e de acordo com a figura 4.5.3, com o início das ações de controle e solução de problemas em dezembro/2021, a empresa pode perceber também uma redução de perdas financeiras decorrentes do defeito com o dissipador.

Vale destacar que a placa danificada custa cerca de US\$10,30, mas que segundo a empresa, o prejuízo causado pelo defeito de cada placa é cerca de 8 vezes maior. Assim, podemos afirmar que em novembro de 2021, a empresa teve uma perda, só com este defeito de

parafusamento, da ordem de US\$128.000,00 que na cotação da época, correspondia a cerca de R\$700.000,00.

#### 4.6 VALIDAÇÃO DA FASE CONTROLAR

Na fase de controle, a empresa nos apresentou um sistema de controle, presente na parafusadeira e até então não utilizado de maneira eficaz pela mesma. Este sistema permite controlar e acompanhar, inclusive graficamente, o torque e o ângulo do equipamento, de modo que a operação de parafusamento pode ser devidamente analisada sob o aspecto da ação da máquina.

Assim, para evitar que uma falha no processo de inspeção do *heat sink* possa ocasionar novas perdas, utilizamos a lógica Fuzzy para validar o procedimento que foi adotado. Essa lógica é apresentada de maneira detalhada em Pontes (2022).

##### 4.6.1 Definição do conjunto fuzzy

Para estabelecimento do sistema fuzzy, as variáveis de entrada foram definidas por meio da identificação dos fatores que foram mais claros no processo de solução do problema de parafusamento: o diâmetro do furo onde o parafuso deve ser inserido, o torque necessário para o parafusamento e o ângulo em que o parafusamento acontece.

Em conjunto com a equipe de engenharia da empresa, ficaram definidas as seguintes funções de pertinência, mostradas na tabela 3.

Tabela 3: Funções de pertinência do sistema

<b>ENTRADAS</b>		
<b>Variáveis</b>	<b>Intervalo Numérico</b>	<b>Valor Linguístico</b>
Diâmetro do furo	[0 – 232]	(Ruim, Bom)
Torque	[0 – 1]	(Fraco, Bom, Forte)
Variação angular	[0 – 90]	(Ruim, Moderado, Bom)
<b>SAÍDA</b>		
Risco de parafusamento	[0 – 100]	(Baixo, Moderado, Alto)

Todas as entradas serão processadas pelo sistema de inferência fuzzy, para que seja identificado o grau de risco no processo de parafusamento.

#### 4.6.2 Definição das regras de inferência

Após a etapa de fuzzificação dos parâmetros de entrada, é necessário aplicar o conjunto de regras fuzzy. Nesta etapa é necessário determinar as regras do processo decisório do sistema.

As regras definidas neste estudo são construídas na forma  $SE < condição 1 < E < condição 2 < ENTÃO < conclusão >$ . A conclusão indica o conjunto ao qual pertence a variável de saída, dentro dos conjuntos fuzzy dessa variável.

Em nosso estudo foram definidas 18 regras para o sistema de inferência fuzzy, conforme descrito na tabela 4 a seguir.

Tabela 4: Regras do sistema fuzzy

#	Regra
1	1. If (diâmetro is bom) and (torque is fraco) and (variação_ang. is baixo) then (risco_de_parafusamento is baixo)
2	2. If (diâmetro is bom) and (torque is fraco) and (variação_ang. is moderado) then (risco_de_parafusamento is baixo)
3	3. If (diâmetro is bom) and (torque is fraco) and (variação_ang. is alto) then (risco_de_parafusamento is moderado)
4	4. If (diâmetro is bom) and (torque is bom) and (variação_ang. is baixo) then (risco_de_parafusamento is baixo)
5	5. If (diâmetro is bom) and (torque is bom) and (variação_ang. is moderado) then (risco_de_parafusamento is moderado)
6	6. If (diâmetro is bom) and (torque is bom) and (variação_ang. is alto) then (risco_de_parafusamento is alto)
7	7. If (diâmetro is bom) and (torque is forte) and (variação_ang. is baixo) then (risco_de_parafusamento is baixo)
8	8. If (diâmetro is bom) and (torque is forte) and (variação_ang. is moderado) then (risco_de_parafusamento is moderado)

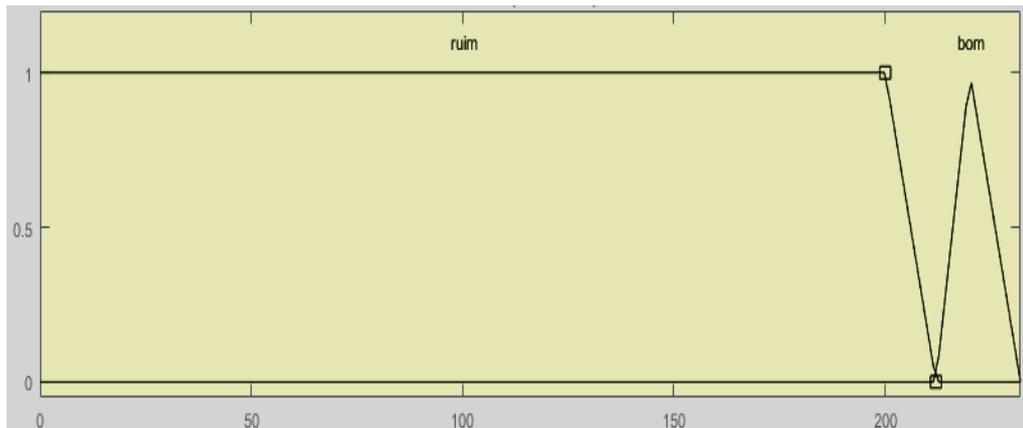
9	9. If (diâmetro is bom) and (torque is forte) and (variação_ang. is alto) then (risco_de_parafusamento is alto)
10	10. If (diâmetro is ruim) and (torque is fraco) and (variação_ang. is baixo) then (risco_de_parafusamento is moderado)
11	11. If (diâmetro is ruim) and (torque is fraco) and (variação_ang. is moderado) then (risco_de_parafusamento is alto)
12	12. If (diâmetro is ruim) and (torque is fraco) and (variação_ang. is alto) then (risco_de_parafusamento is alto)
13	13. If (diâmetro is ruim) and (torque is bom) and (variação_ang. is baixo) then (risco_de_parafusamento is moderado)
14	14. If (diâmetro is ruim) and (torque is bom) and (variação_ang. is moderado) then (risco_de_parafusamento is alto)
15	15. If (diâmetro is ruim) and (torque is bom) and (variação_ang. is alto) then (risco_de_parafusamento is alto)
16	16. If (diâmetro is ruim) and (torque is forte) and (variação_ang. is baixo) then (risco_de_parafusamento is alto)
17	17. If (diâmetro is ruim) and (torque is forte) and (variação_ang. is moderado) then (risco_de_parafusamento is alto)
18	18. If (diâmetro is ruim) and (torque is forte) and (variação_ang. is alto) then (risco_de_parafusamento is alto)

### 4.6.3 Simulação no MATLAB

Com os conjuntos fuzzy definidos e as regras de inferências definidas são realizadas as simulações no software Matlab, versão Student R2019A, com a utilização do aplicativo gráfico Fuzzy Toolbox para visualização das condições possíveis para cada um destes fatores e o risco de realizar o parafusamento na placa.

A figura 4.6.3.a a seguir mostra a entrada DIAMETRO inserida no Matlab.

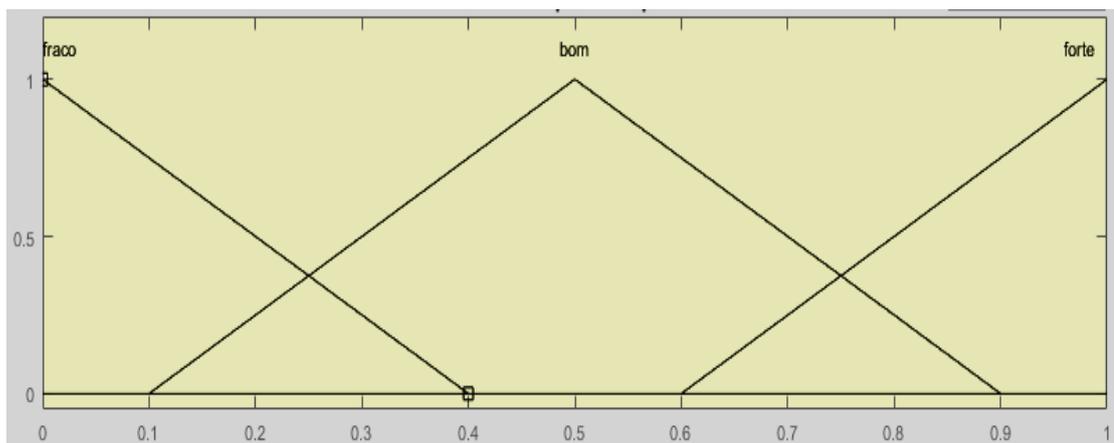
Figura 4.6.3.a – Input diâmetro



Como já descrito ao longo da pesquisa, o diâmetro é parâmetro fundamental para um bom parafusamento, pois o parafuso precisa ter contato com o furo e gerar certo atrito. Nesse caso, qualquer diâmetro fora da especificação gera risco para o processo. A especificação ideal do furo é  $2,2 + 0,12$  mm.

A figura 4.6.3.b a seguir apresenta a entrada TORQUE.

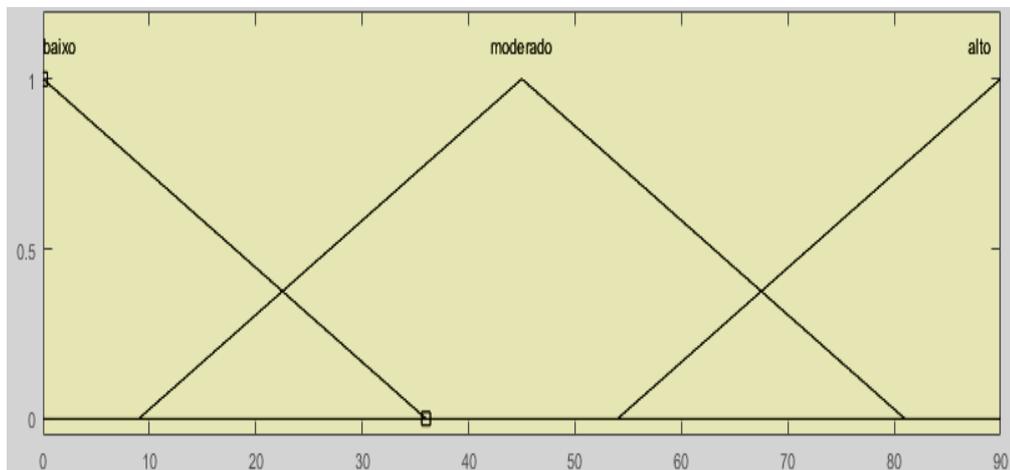
Figura 4.6.3.b – Input torque



O torque padrão para este tipo de parafusamento é de 0.5N.m desta forma foi possível construir as condições acima para o torque, considerando que um torque só seria muito prejudicial se fosse forte e associado aos outros fatores fora da especificação.

A figura 4.6.3.c a seguir apresenta a entrada VARIAÇÃO DE ÂNGULO.

Figura 4.6.3.c – Input variação de ângulo

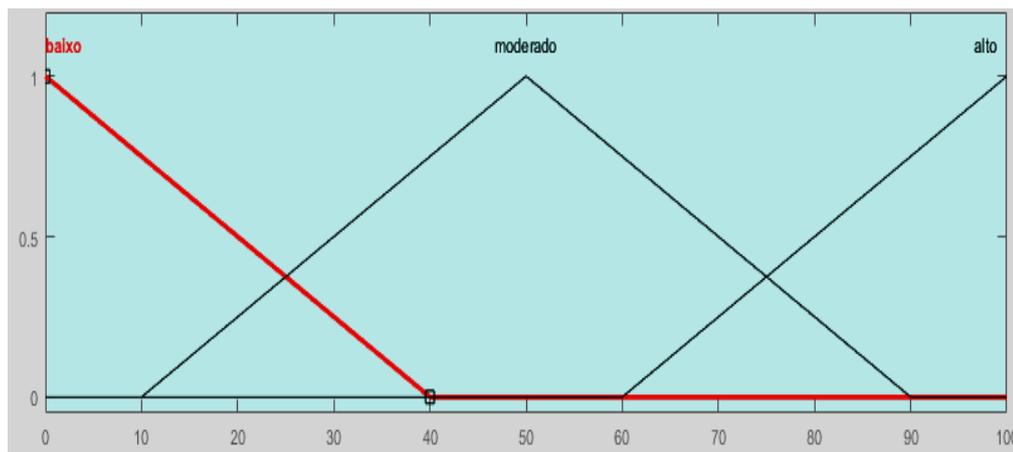


Em nossa análise, uma variação de ângulo acima de 45 graus no parafusamento poderia indicar um defeito. Por isso, construímos essa entrada considerando que variações de ângulo no parafusamento podem ocorrer, com limite de 90°, que seria a placa totalmente virada, impossibilitando o parafusamento.

Cabe destacar que a máquina que executa o parafusamento é capaz de ajustar a placa para um parafusamento ideal.

A figura 4.6.3.d mostra a representação da saída RISCO DE PARAFUSAMENTO, onde será inferido se a placa pode ser danificada ou não.

Figura 4.6.3.d – Input variação de ângulo



Segundo o acordado com o time de engenharia da empresa, um risco de até 50% (moderado) seria considerado aceitável para o prosseguimento do processo de parafusamento.

#### 4.6.4 Análise da tomada de decisão

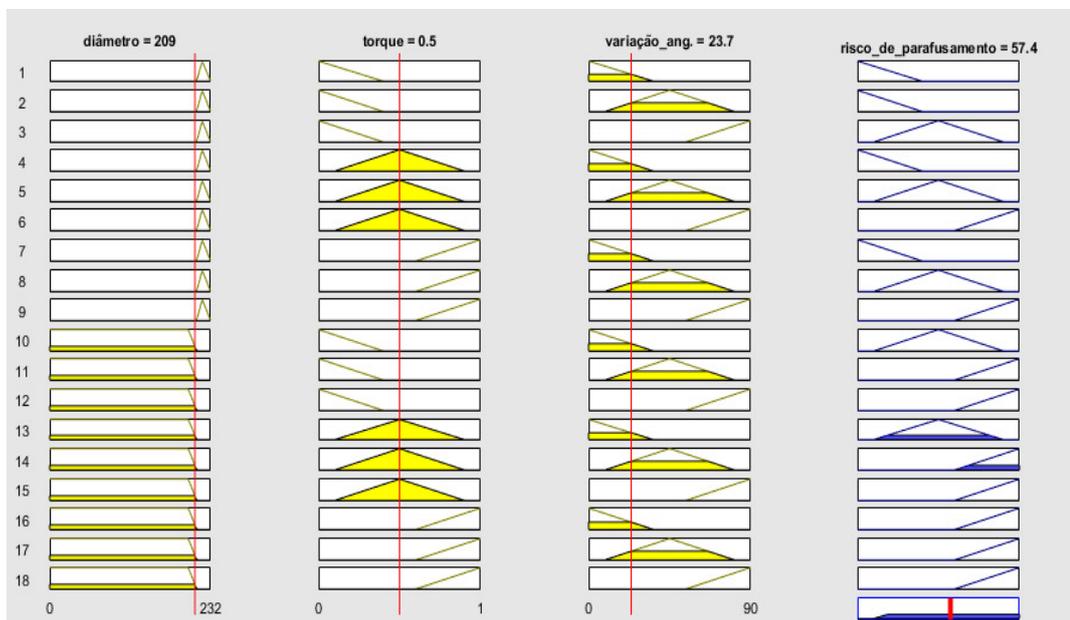
Por meio dos resultados obtidos, foi possível constatar que o diâmetro da peça é o principal fator de risco para defeitos no parafusamento. De acordo com a lógica fuzzy, é possível inferir que mesmo que o torque esteja adequado e não haja variação de ângulo no processo, sem um *heat sink* fabricado conforme as especificações do projeto, o risco sempre ficará acima dos 50% aceitáveis pela empresa.

O modelo fuzzy adotado possui os dados de análise exibidos no visualizador de regras possibilitando a interpretação do processo de inferência e demonstrando as funções que refletem no resultado do sistema.

Variando os valores das entradas, é possível analisar a saída do modelo proposto, alcançando um valor que possibilita uma correta análise da eficiência do método adotado para apoio na tomada de decisão no que tange ao tipo de estratégia sugerida pelo cruzamento das variáveis de entrada.

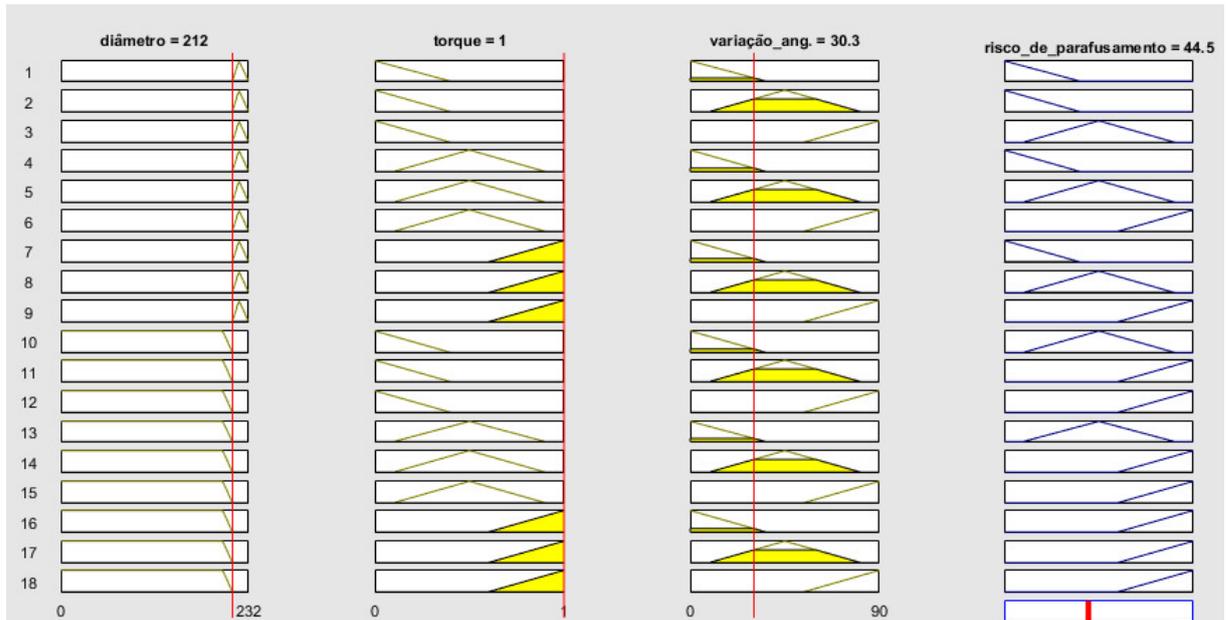
A figura 4.6.4.a a seguir evidencia que, mesmo com uma variação angular baixa e um torque ideal, se o diâmetro não estiver dentro da especificação, o risco de parafusar essa placa é acima do tolerado pela empresa.

Figura 4.6.4.a – Cenário com diâmetro fora dos padrões de projeto



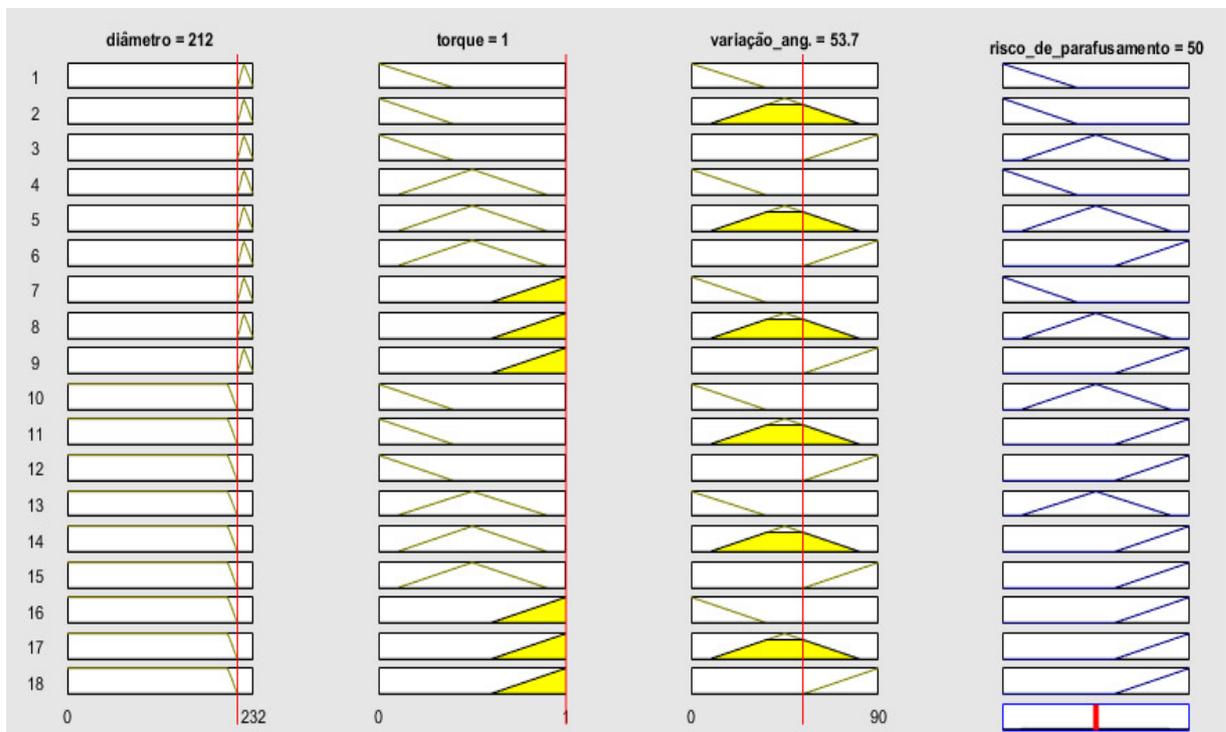
Por outro lado, a figura 4.6.4.b evidencia que quando consideramos o diâmetro da peça dentro dos padrões do projeto, é possível verificar que o torque não é um fator tão importante, pois a sua variação não gera maiores impactos no risco.

Figura 4.6.4.b– Cenário com diâmetro bom e torque máximo



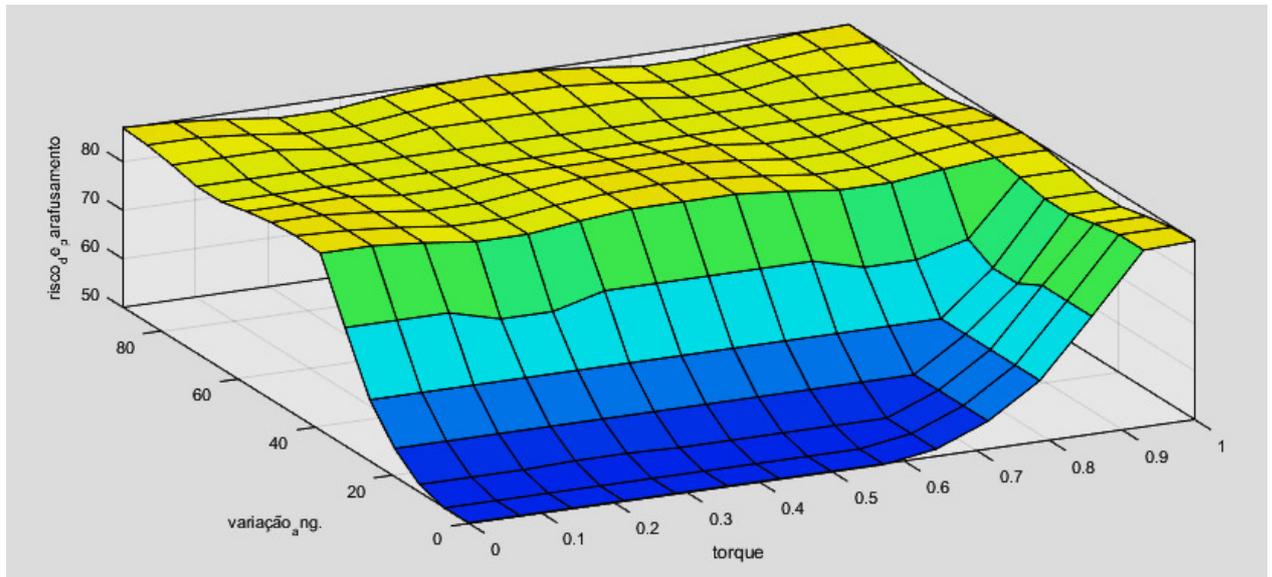
Por fim, foi detectado que a máxima variação angular que pode acontecer no processo de parafusamento, caso o torque seja elevado é de  $53,7^\circ$ , conforme ilustrado na figura 4.6.4.c.

Figura 4.6.4.c– Cenário com diâmetro bom e torque máximo



A Figura 4.6.4.d ilustra a janela de superfície gerada pelo MATLAB do modelo de estudo proposto, onde pode-se observar que, considerando o diâmetro do furo como dentro dos parâmetros, o melhor cenário para o parafusamento acontecer é com a máquina sob baixo torque e baixa variação angular no processo.

Figura 4.6.4.d– Cenário com diâmetro bom e torque máximo



Dessa forma, com base nos resultados obtidos neste estudo de lógica fuzzy, podemos orientar a equipe de engenharia da empresa com os seguintes aspectos:

1. O fornecimento de um dissipador de calor de acordo com o projeto é elemento fundamental para o processo de parafusamento, pois como pode ser visto pela inferência fuzzy, qualquer falha no diâmetro do furo gera um risco acima do tolerável para este procedimento.
2. A máquina de parafusar possui um sistema de controle de torque e ângulo que precisa ser levado em consideração. É necessário acompanhar se estas variáveis estão em uma região considerada ótima, isto é: baixo torque e pequena variação angular. Para isso, a empresa precisará dispor de ações para automatizar esse controle junto da parafusadeira.
3. As recomendações e ações do time de engenharia são de caráter preventivo, de tal modo que é possível evitar a perda da placa depois de confeccionada.

## CAPÍTULO 5

---

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo de caso tem como objetivo geral a aplicação do método DMAIC em um processo produtivo de uma empresa, para detecção de falhas e indicativo de melhorias na produção de uma placa com dissipador de calor.

No segundo capítulo desta dissertação apresentamos a ferramenta DMAIC como uma metodologia predeterminada e decomposta em cinco etapas padronizadas: definir, medir, analisar, implementar e controlar. Em cada etapa, ferramentas foram utilizadas para o desenvolvimento das ações, como o diagrama de causa e efeito, 5W2H, entre outros.

Assim, a falha na produção de placas de painéis automotivos teve um desdobramento: o problema na verdade ocorria no processo de parafusamento e a causa raiz era um dissipador de calor fora da especificação de projeto.

Dessa forma, determinado o problema e a causa raiz, o time de engenharia da empresa passou a agir de maneira a corrigir a falha: o diâmetro do furo onde o parafuso deveria ser inserido precisava estar dentro da margem de tolerância e para isso a empresa precisou notificar o fornecedor da peça sobre o erro de produção. Além disso, a empresa passou a utilizar uma ferramenta até então não acionada: o controle de torque e ângulo que a máquina de parafusar possui, que é capaz de mostrar graficamente como foi a operação de parafusamento. Com este gráfico foi possível perceber que um heat sink defeituoso sempre vai gerar um torque muito baixo na máquina associado a uma variação angular alta no processo de parafusamento.

De posse dessas informações a empresa passou a adotar ações de controle tanto na produção de novos dissipadores de calor quanto na ação de torque e ângulo da parafusadeira.

Para validar essa tomada de decisão, utilizamos a lógica fuzzy, e através das inferências produzidas neste sistema, foi possível verificar que realmente os parâmetros que a empresa decidiu controlar eram fundamentais para que a falha não ocorresse novamente, dando ao processo uma ação preventiva de novas falhas.

O resultado benéfico desta ação de aplicação no DMAIC foi a solução do problema encontrado, que no mês de novembro de 2021 gerava um prejuízo de US\$16.000,00 para a empresa e que já no mês de março/2022 foi mitigado. Concluímos assim que o DMAIC é uma ferramenta válida para a solução de problemas e que possui fácil aplicação dentro do ambiente industrial e que a fase de controle foi devidamente validada através da lógica fuzzy, dando maior segurança científica para a tomada de decisão da empresa.

## REFERÊNCIAS

AGUIAR, Denise Tomaz. **Matriz Gut Como Estratégia De Planejar As Ações De Auditoria No Sus Para Subsidiar A Gestão Do Município De Sobral-Ce.** In: 11º Congresso Internacional da Rede Unida. 2014

ANDRADE, J. H. de; FERNANDES, F. C. F.; NANTES, J. F. D. **Avaliação do nível de integração entre PDP E PCP em ambiente de projeto e fabricação sob encomenda.** In: XXX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 30. São Carlos, 2010. Anais... Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia de Produção – ABEPRO, 2010, p. 01-11.

ARAUJO, C. e RENTES, A. (2006). **“The Kaizen Methodology in the Conduction of Change Processes on Lean Manufacturing Systems”**, Revista Gestão Industrial.

ARIOLI, Edir Edemir. **Análise e solução de problemas: o método da qualidade total com dinâmica de grupo.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998.

BALLESTERO-ALVAREZ, Maria Esmeralda. **Gestão de qualidade, produção e operações.** São Paulo: Atlas, 2010.

BARBOSA, Luiz Antonio et al. **Metodologia DMAIC aplicada à solução de problemas em uma planta petroquímica.** Revista ESPACIOS| Vol. 36 (Nº 14) Año 2015, 2015.

BICHENO, J.; HOLWEG, M. **The Lean toolbox: The essential guide to Lean transformation, Picsie Books, 2008.**

BIEDERMANN, H. **Knowledge based maintenance: Strategies, concepts and solutions for knowledge-based maintenance, 15.** Instandhaltungs-Forum, TÜV-Verl., 2001.

CAMPOS, Vicente Falconi. **TQC: Controle da Qualidade Total (no estilo japonês).** 5ªed. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 2004. 229p.

CARPINETTI, L. C. R. **Gestão da qualidade: Conceitos e técnicas.** 2 ed. São Paulo: Atlas, 2012.

CERQUEIRA, A.;NETO, B.P. **Gestão da qualidade princípios e métodos**. São Paulo: Livraria Pioneira Editora, 1991.

CLETO, Marcelo Gechele; QUINTEIRO, Leandro. **Gestão de projetos através do DMAIC: um estudo de caso na indústria automotiva**. Revista Produção Online, v. 11, n. 1, p. 210-239, 2011.

COLLIS, J.; HUSSEY, R. **Pesquisa em administração**. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 349p.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de produção e operações: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2011. 690p

COSTA, Amanda Rodrigues Santos. **Aplicação da matriz GUT na gestão integrada de resíduos sólidos da cidade do Recife-PE**. Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica, v. 10, n. 2, p. 201-213, 2017.

DE SOUZA, Bruno Carvalho et al. **Implantação do programa 5S através da metodologia DMAIC**. Brazilian Journal of Development, v. 4, n. 5, p. 2163-2179, 2018.

DONADEL, Daniel C. **Aplicação da metodologia DMAIC para redução de refugo em uma indústria de embalagens**. São Paulo, 2008.

ENAP. **Análise e Melhoria de Processos Metodologia MASP**, Módulo 1. Publicado por Escola Nacional de Administração Pública, 2015a.

ENAP. **Análise e Melhoria de Processos Metodologia MASP**, Módulo 2 Preparação para a Aplicação da MASP. Publicado por Escola Nacional de Administração Pública, 2015b.

FERNANDES, N. O. **Aplicação do MASP para redução das reclamações dos clientes de uma empresa de distribuição e beneficiamento de açaí**. Universidade Federal Do Ceará Centro De Tecnologia Departamento De Engenharia De Produção Curso De Engenharia De Produção Mecânica. 2018.

GARZA RÍOS, Rosario C. et al. **Aplicación de la metodología DMAIC de Seis Sigma con simulación discreta y técnicas multicriterio**. Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa, v. 22, p. 19-35, 2016.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2014.

GOMES, P. (2004). “**A evolução do conceito de qualidade: dos bens manufaturados aos serviços de informação**”, Cadernos BAD2.

GONZALEZ, Rodrigo Valio Dominguez; MARTINS, Manoel Fernando. **Melhoria contínua no ambiente ISO 9001: 2000: estudo de caso em duas empresas do setor automobilístico**. Production, v. 17, p. 592-603, 2007.

GRAM, M. **Efficient production by avoiding the sources of loss in plant operation: Identified sources of loss in production and maintenance, and their influence on the factors of production**, TÜV Media, 2011.

GUIZARDI, B. TAVARES, E. R. **Aplicação do masp dentro de uma empresa do ramo de mármore e granito: um estudo de caso**. Faculdade Multivix Cachoeiro de Itapemirim, 2017.

GUTENBERG, E. **Fundamentals of Business Economics**, Springer, 1972.

HAMANAKA, Raíssa Yuri y SOARES, Filipi Miranda. **A relação entre o mapeamento de processos e a modelização no contexto da gestão do conhecimento: estudo de caso aplicado em uma biblioteca digital**. Investig. bibl [online]. 2019, vol.33, n.81

HUTCHINS, David. **Sucesso através da qualidade total**. 1ªed. Rio de Janeiro: Imagem Ed., 1992. 243p.

IMAI, Masaaki. **Kaizen: a estratégia para o sucesso competitivo**. 51ªed. São Paulo: Instituto IMAM, 1994. 235p.

JUNIOR, Marcelo Pompermayer; DE LIMA, André; STOCO, Wanderson Henrique. **Busca de Melhoria Contínua em Processo Produtivo: Aplicações das Ferramentas de Gestão da Qualidade**. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 3, p. 10621-10634, 2020.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2011

LOUSAS, Carla Manuela Saldanha. **Desenvolvimento de um sistema de gestão da qualidade e implementação da melhoria contínua**. Tese de Doutorado. ASSOCIAÇÃO DE POLITÉCNICOS DO NORTE (APNOR). 2018

MARANHÃO, M. **ISO Série 9000: manual de implementação: versão 2000: o passo-a-passo para solucionar o quebra-cabeça da gestão**. 8 ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2006. Xv, 2012p. 2006.

MATTAR, Fauze Najib. **Pesquisa de marketing: metodologia, planejamento, execução, análise**. 2ªed. São Paulo: Atlas, 1994. 350p.

MESQUITA, Melissa; ALLIPRANDINI, Dário Henrique. **Competências essenciais para melhoria contínua da produção: estudo de caso em empresas da indústria de autopeças**. *Gestão & Produção*, v. 10, p. 17-33, 2003.

MORAIS, A. P.; GODOY, L. P. **Qualidade em serviços: uma abordagem conceitual**. Bauru/SP, UNESP. 2006.

MOREIRA, D. A. (2011). **Administração da produção e operações**. São Paulo, Ed. Cengage Learning.

NAKAJIMA, S. **Introduction to TPM: total productive maintenance**, Productivity Press, 2006.

NATALI, Thanise Yara Silva. **A metodologia kaizen aplicada à indústria automobilística DaimlerChrysler do Brasil**. 2004 64f. Monografia no curso de Secretariado Executivo Trilíngue. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais. 2004.

NEBL, T. **Production Management**, Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 2007.

NEUMANN, Bruna; CALMON, Ana Paula Santos; AGUIAR, Marluce Martins. **Aplicação do ISA e Diagrama de Pareto como ferramentas de gestão do loteamento Lagoa Carapebus**. *Latin American Journal of Business Management*, v. 4, n. 1, 2013.

OCAMPO, Jared; PAVÓN, Aldo. **Integrando la metodología DMAIC de Seis Sigma con la Simulación de Eventos Discretos en Flexsim**. In: Proceeding of the 10 Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology, paper. 2012.

OHNO, T. **Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production**, Campus Verlag GmbH, 2010.

OLIVEIRA, Djalma de Pinho Rebouças de. **Sistemas, organizações e métodos: uma abordagem gerencial**. 12ªed. São Paulo: Atlas, 2001. 497p.

PACHECO, D. A. J; MARTELETTI, C; SILVEIRA, R. M. **Challenges for inventory management in consumer goods distribution companies**. Rev. Lasallista Investig. vol.17 no.1 Caldas Jan./June 2020 Epub Feb 04, 2021

PASCOAL, J. A. (2008). **Gestão estratégica de recursos materiais: controle de estoque e armazenagem**. Trabalho de Conclusão de Curso. Centro Universitário de João Pessoa-UNIPÊ, 62 p

PEINADO, J.; GRAEML, A. R. **Administração da produção: operações industriais e de serviços**. 1 ed. Curitiba: UnicenP, 2007. 750p.

PÉREZ-LÓPEZ, Esteban; GARCÍA-CERDAS, Minor. **Implementación de la metodología DMAIC-Seis Sigma en el envasado de licores en Fanal**. Revista tecnología en Marcha, v. 27, n. 3, p. ág. 88-106, 2014.

PESTANA, Marcelo Diniz. **Aplicação integrada da matriz GUT e da matriz da qualidade em uma empresa de consultoria ambiental**. Um estudo de caso para elaboração de propostas de melhorias. GESTÃO DE SERVIÇOS, p. 6, 2016.

PONTES, Kleber de Lima. **Análise do grau de riscos em projetos de P&DI utilizando lógica fuzzy para identificação de viabilidade técnica**. ITEGAM, 2022.

RISCHAR, K.; Titze, C. **Quality circles: effective problem solving by groups operating**, expert verlag, 2002.

RITZMAN, L. P.; KRAJEWSKI, L. J. **Administração de Produção e Operações**. 1 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2004. 431p

RODRIGUES, Bianca Tamy. **Diagrama de pareto**. CEP, v. 1310, p. 100, 2015.

ROTHER, M. & SHOOK, J. **Aprendendo a enxergar**. Lean Institute Brasil. São Paulo, 1999.

SILVA, Sergio Barbosa. **Diagrama de Pareto**: verificação da ferramenta de qualidade por patentes. Anais do XI SIMPROD, 2019.

SMITH, Adam; RICARDO, David K. **Subramaniam, Capital Theory and Economic Analysis**. Gyan Books, 2007.

SOUZA, F. R. S. **Planejamento e controle da produção**. Monografia em Especialista em Engenharia da Produção. Instituto A Vez do Mestre – Universidade Candido Mendes. Rio de Janeiro, RJ, 2009.

SOUZA, J. V. T; FARIAS, M. S. **Health quality management in relation to patient safety: literature review**. Sanare (Sobral, Online). 2019

SUZUKI, T. **New directions for TPM**, Productivity Press, 2005.

TBM Consulting Group. **Apostila para treinamento de kaizen chão de fábrica**. São Paulo, 2000.

TODOROV, Maria do Carmo Assis. **Competências do Secretariado Executivo na gestão de projetos**. Gestão & Produção [online]. 2021, v. 28, n. 3

TÓFOLI, E. T. **Proposta de um modelo de alinhamento da metodologia seis sigma com o gerenciamento matricial de receita**. 2011.

VIANA, L. R. L. **Aplicação do masp na redução do nível de defeitos no processo de pré-pintura em uma indústria fabricante de pás eólicas: um estudo de caso**. Universidade Federal Do Ceará Centro De Tecnologia Departamento De Engenharia De Produção Graduação Em Engenharia De Produção Mecânica, 2018.

VIEIRA, M. R. B; DE ALMEIDA, R. C. D. **Aplicação do MASP**: Estudo de caso em uma fábrica de doces. ConBREPRO, 2020.

WEBB, Michael J. &Gorman, Tom. **Sales and Marketing**: the six-sigma way. Ed.1. Georgia: Sales Performance Consultants, Inc., 2006.

WEBER, H. K. **To the system of productive factors**, *Z. Für Betriebswirtschaftliche Forsch.*, vol. 32, 1056–1071. 2008.