

**RONILDO SOUZA DA SILVA**

**USO DE FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS E DE QUALIDADE NA**  
**MELHORIA DE DESIGN DE MONITORES DE LCD**

**MANAUS – AM**

**2022**

**RONILDO SOUZA DA SILVA**

**USO DE FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS E DE QUALIDADE NA  
MELHORIA DE DESIGN DE MONITORES DE LCD**

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:** Jandecy Cabral Leite

**MANAUS – AM**

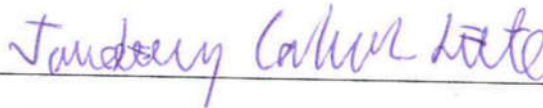
**2022**

**RONILDO SOUZA DA SILVA**

**USO DE FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS E DE QUALIDADE NA  
MELHORIA DE DESIGN DE MONITORES DE LCD**

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.

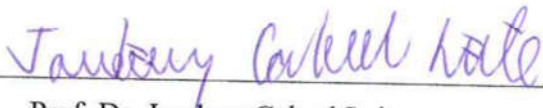
Manaus-AM, 07 de março de 2022.



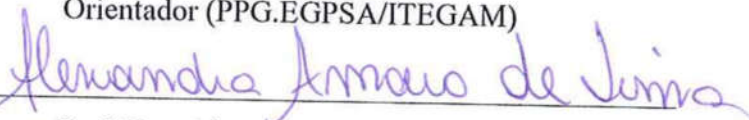
**Prof. Dr. Jandecy Cabral Leite**

Coordenador do PPG.EGPSA – ITEGAM

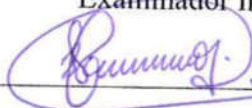
**BANCA EXAMINADORA**



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



**Prof. Dra. Alexandra Amaro de Lima**  
Examinador Interno (PPG.EGPSA/ITEGAM)



**Prof. Dra. Luciana da Cunha Ferreira**  
Examinador Externo (SEDUC)

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

---

Silva, Ronildo Souza da, 2022 - USO DE FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS E DE QUALIDADE NA MELHORIA DE DESIGN DE MONITORES DE LCD / Ronildo Souza da Silva - 2022. 123 f., il: Colorido

Orientador: Dr. 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. PDCA 2. Diagrama de Ishikawa 3. Kaizen

CDD - 1001.ed.2022.8

---

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pois de forma maravilhosa concede aos homens sabedoria e inteligência, além da infinita capacidade para realização de sonhos.

À Denise Dantas, minha esposa querida, pelo apoio e paciência.

À Victoria Souza, minha filha amada, pela felicidade que sua existência me proporciona todos os dias.

Aos meus pais, Odineia Souza e Antonio Francisco, pela educação e apoio que dão aos meus estudos desde a minha tenra infância.

Ao Professor Dr. Jandecy Cabral Leite, por seu excelente suporte na orientação desse mestrado.

À todos os professores do ITEGAM, por todo conhecimento valioso compartilhado.

Ao grupo TPV e seus gestores, pela oportunidade de realizar esse mestrado, sem a qual eu não estaria realizando esse sonho.

À todos os amigos e colegas do grupo TPV pelo companheirismo e apoio durante todo o processo de formação.

Aos demais amigos e familiares, que de uma forma direta ou indiretamente, contribuíram para essa conquista.

A todos, minha sincera gratidão!

*Epígrafe*

“A boa sorte muitas vezes acontece quando a oportunidade se encontra com o preparo”.

Thomas Edison

## *Dedicatória*

Aos meus pais Odineia Souza e Antonio Francisco, esposa Denise Dantas, filha Victoria Dantas e a toda minha família que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

## RESUMO

SILVA, Ronildo Souza da. **USO DE FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS E DE QUALIDADE NA MELHORIA DE DESIGN DE MONITORES DE LCD**. 2022. p. 123. 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.

Empresas em todo mundo buscam lançar uma quantidade considerável de novos produtos todos os anos. Durante este processo, geralmente são detectadas falhas de projeto e problemas de *design*. Neste contexto, este estudo objetiva explorar cientificamente os eventos ocorridos durante a implementação de um novo produto monitor de tela de cristal líquido, onde sua funcionalidade, aparência, qualidade e custo são considerados satisfatórios, no entanto, seu *design* teve impacto negativo sobre o processo de produção em massa e apresentou grande necessidade de melhoria. A pesquisa então buscou compreender as causas do problema e aplicar algumas soluções, principalmente para o maior defeito encontrado no projeto: infiltração de adesivo dentro do mecanismo de acionamento do botão *joystick*. A metodologia aplicada foi desenvolvida por meio de pesquisa-ação, o que significou no papel ativo na análise do problema e desenvolvimento de soluções dentro do ambiente de pesquisa e utilizou ferramentas da qualidade (PDCA, Ishikawa e Kaizen) e parâmetros das ferramentas de lógica Fuzzy (variáveis linguísticas, fuzzyficação, regras de Inferência e a defuzzificação). Como resultado, a organização obteve benefícios diversos, tais como redução de índice de defeitos de 20% para menos de 3%, diminuição de custos com peças de reposição e serviço de reparo, além do aumento dos indicadores de qualidade e produtividade. Houve também impacto nos custos do produto, com provável economia com a implementação da melhoria estimados na ordem de R\$ 16 milhões em um período de seis meses. Considerando estes fatores, este trabalho produziu os efeitos desejados sobre seu objeto de estudo de forma satisfatória.

**Palavras-Chave:** PDCA, Diagrama de Ishikawa, Kaizen.



## ABSTRACT

SILVA, Ronildo Souza da. **USE OF COMPUTATIONAL AND QUALITY TOOLS IN THE IMPROVEMENT OF LCD MONITORS DESIGN**. 2022. p. 123. Dissertation of the Graduate Program in Engineering, Process Management, Systems and Environmental (EGPSA), Institute of Technology and Education Galileo Amazon (ITEGAM), Manaus, 2022.

Companies all over the world aim to launch a considerable amount of new products every year. During this process, project failures and design problems are often detected. In this context, this study aims to scientifically explore the events that occurred during the implementation of a new LCD (Liquid Crystal Display) monitor product, where its functionality, appearance, quality, and cost are considered satisfactory; however, its design had a negative impact on the mass production process and presented a great need for improvement. The research then sought to understand the causes of the problem and apply some solutions, especially for the biggest defect found in the project: infiltration of adhesive inside the joystick button actuation mechanism. The applied methodology was developed through action research, which meant an active role in the analysis of the problem and development of solutions within the research environment and used quality tools (PDCA, Ishikawa and Kaizen) and parameters of the fuzzy logic tools (linguistic variables, fuzzyfication, Inference rules and defuzzification). As the result, the organization obtained several benefits, such as reducing the defect rate from 20% to less than 3%, reducing costs with spare parts and repair service, and increasing quality and productivity indicators. There was also an impact on product costs, with probable savings with the implementation of the improvement estimated to be around R\$ 16 million in a six-month period. Considering these factors, this work produced the desired effects on its object of study in a satisfactory way.

**Keywords:** PDCA, Ishikawa diagram, Kaizen.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 2.1</b> - Ciclo de realimentação cliente- <i>marketing</i> -projeto.....	25
<b>Figura 2.2</b> - Etapas de um novo produto ou processo .....	26
<b>Figura 2.3</b> - Ciclo PDCA – Método de Controle de Processo.....	29
<b>Figura 2.4</b> - Diagrama de Ishikawa .....	29
<b>Figura 3.1</b> - Tipos de metodologia .....	49
<b>Figura 3.2</b> - Medida da haste da chave de acionamento.....	51
<b>Figura 3.3</b> - Imagem da medição realizada pelo microscópio e programa.....	51
<b>Figura 3.4</b> - Marcação de controle realizada em cada conjunto medido .....	52
<b>Figura 3.5</b> - Botão <i>joystick</i> encaixado na placa de circuito impresso.....	52
<b>Figura 3.6</b> - Medição da força de remoção do botão <i>joystick</i> da placa .....	52
<b>Figura 3.7</b> - Fluxograma do processo de medição.....	53
<b>Figura 4.1</b> - Etapas da Introdução de um novo produto .....	58
<b>Figura 4.2</b> - Processo de adesivagem com cola <i>Letbond</i> 4461.....	64
<b>Figura 4.3</b> - Montagem da chave de acionamento.....	64
<b>Figura 4.4</b> - Conjunto <i>joystick</i> -PCBA montado .....	65
<b>Figura 4.5</b> - Soldagem do cabo flexível.....	65
<b>Figura 4.6</b> - Testagem do conjunto <i>joystick</i> -PCBA-cabo montado.....	66
<b>Figura 4.7</b> - Substituição do conjunto chave- <i>joystick</i> .....	66
<b>Figura 4.8</b> - Migração do adesivo do botão <i>joystick</i> para a chave de acionamento .....	67
<b>Figura 4.9</b> - Defeitos do botão <i>joystick</i> .....	68
<b>Figura 4.10</b> - Redução da ponta do dosador .....	68
<b>Figura 4.11</b> - Inserção de cola diretamente na chave de acionamento .....	69
<b>Figura 4.12</b> - Inserção de cola com uso de papel na dosagem .....	69
<b>Figura 4.13</b> - Diagrama de Ishikawa mostrando as prováveis causas .....	70
<b>Figura 4.14</b> - Comparação de altura do <i>joystick</i> original e alternativo.....	71

Figura 4.15 - Equipamento dosador .....	71
Figura 4.16 - Forma atual e proposta de montagem do botão <i>joystick</i> .....	72
Figura 4.17 - Conjunto montado no gabinete do produto .....	74
Figura 4.18 - Simulação de remoção do <i>joystick</i> no gabinete montado .....	74
Figura 4.19 - Medidas da cavidade do <i>joystick</i> versus haste da chave: folga .....	74
Figura 4.20 - Medidas da haste acima das medidas da cavidade: aperto .....	74
Figura 4.21 - Medida da haste de acionamento antes e depois da expansão.....	74
Figura 4.22 - Comparativo entre as medidas de folga e aperto .....	74
Figura 4.23 - Comparativo da força para remover o botão <i>joystick</i> da haste.....	74
Figura 4.24 - Resultados dos testes de vibração e queda .....	78
Figura 4.25 - <i>Benchmarking</i> com modelo similar.....	78
Figura 4.26 - Sistema <i>Fuzzy</i> para a avaliação das medidas da peça.....	80
Figura 4.27 - Representação gráfica dos critérios de avaliação da haste .....	81
Figura 4.28 - Critérios de avaliação das medidas da cavidade do <i>joystick</i> .....	81
Figura 4.29 - Representação gráfica dos critérios de avaliação da força .....	82
Figura 4.30 - Consistência/confiabilidade versus cavidade versus haste.....	83
Figura 4.31 - Consistência/confiabilidade versus haste versus cavidade.....	83
Figura 4.32 - Consistência/confiabilidade versus haste versus força.....	84
Figura 4.33 - Visão geral das regras de inferência via sistema <i>Fuzzy</i> .....	84
Figura 4.34 - Resultado representando uma baixa consistência e confiabilidade .....	85
Figura 4.35 - Resultado representando uma ótima consistência e confiabilidade.....	<b>Erro!</b>
<b>Indicador não definido.</b>	
Figura 4.36 - Comparação (sem e com aplicação da solução proposta) .....	86
Figura 4.37 - Comparação (sem e com aplicação da solução proposta) .....	87
Figura 4.38 - Comparação (sem e com aplicação da solução proposta) .....	87
Figura 4.39 - Dimensões da chave de acionamento .....	88
Figura 4.40 - Comparação (sem e com aplicação da solução proposta) .....	89

<b>Figura 4.41</b> - Equiparação de parte da haste da chave a um triângulo retângulo .....	89
<b>Figura 4.42</b> - Especificações do botão joystick e haste do botão de acionamento .....	91
<b>Figura 4.43</b> - Pontos de tração no sistema haste/ <i>joystick</i> .....	92

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 2.1</b> - Exemplo de métricas da qualidade .....	33
<b>Tabela 2.2</b> - Exemplos de coeficientes de atrito estático e cinético .....	41
<b>Tabela 3.1</b> - Lista de materiais utilizados nas medições.....	50
<b>Tabela 4.1</b> - <i>Benchmarking</i> com medidas do modelo similar .....	79
<b>Tabela 4.2</b> - Critério de avaliação das medidas da haste do botão de acionamento .....	80
<b>Tabela 4.3</b> - Critério de avaliação das medidas da cavidade do <i>joystick</i> .....	81
<b>Tabela 4.4</b> - Força de remoção do botão <i>joystick</i> após melhoria.....	82
<b>Tabela 4.5</b> - Custos prováveis de economia do período de implementação .....	119

## LISTA DE SIGLAS

<b>PIM</b>	Polo Industrial De Manaus
<b>BOM</b>	<i>Bill Of Material</i>
<b>OEM</b>	<i>Original Equipment Manufacturer</i>
<b>NPI</b>	<i>New Product Introduction</i>
<b>CAD</b>	<i>Computer-Aided Design</i>
<b>DVT</b>	<i>Desing Valuation Test</i>
<b>EIT</b>	<i>Engineering Integration Test</i>
<b>PCB</b>	<i>Printed Circuit Board</i>
<b>PCBA</b>	<i>Printed Circuit Board Assembled</i>
<b>PCI</b>	Placa de Circuito Impresso
<b>DVT</b>	Desenvolvimento de Teste de Verificação
<b>PCP</b>	Planejamento e Controle De Produção
<b>PD</b>	Pesquisa e Desenvolvimento
<b>RD</b>	<i>Resorce and Development</i>

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	19
1 INTRODUÇÃO .....	19
1.1 JUSTIFICATIVA DA DISSERTAÇÃO .....	20
1.2 OBJETIVOS .....	22
1.2.1 Geral .....	22
1.2.2 Específicos .....	22
1.3 ORGANIZAÇÃO DOS CAPÍTULOS .....	22
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	23
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	23
2.1 ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO .....	23
2.1.2 Sistema de Administração da Produção .....	23
2.1.3 Projeto do produto ou serviço .....	24
2.2 FERRAMENTAS DA QUALIDADE .....	27
2.2.1 PDCA .....	27
2.2.2 Ishikawa .....	29
2.2.3 Kaizen .....	30
2.2.4 Gestão da Qualidade .....	31
2.2.5 Métricas das ferramentas da Qualidade .....	32
2.3 DESIGN DO PROCESSO .....	33
2.4 DESIGN DO PRODUTO .....	34
2.5 PRINCÍPIOS DA RESISTÊNCIA DE MATERIAIS .....	36
2.5.1 Torção: resistência dos materiais .....	36
2.5.2 Flexão: resistência dos materiais .....	36
2.5.3 Flambagem: resistência dos materiais .....	37
2.5.4 Tensão e deformação: resistência dos materiais .....	37
2.6 ENCAIXES MECÂNICOS .....	40

2.7 FORÇA DE ATRITO.....	41
2.8 FERRAMENTAS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL .....	42
2.8.1. Logica Fuzzy .....	44
2.8.2 Rede Neural Artificial (RNA).....	44
2.8.3 Algoritmo Genético.....	45
2.8.4 Enxame de formiga.....	47
<b>CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>49</b>
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>49</b>
3.1. METODOLOGIA DA PESQUISA.....	49
3.2 MATERIAIS .....	49
3.3 MÉTODOS.....	50
3.4 FLUXOGRAMA DE PROCESSO: .....	53
<b>CAPÍTULO 4 .....</b>	<b>56</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>56</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA INDÚSTRIA .....	56
4.2 PROCESSO DE NOVOS PRODUTOS.....	57
4.2.1 Fase 1: Geração de Ideias .....	58
4.2.2 Fase 2: Especificações funcionais .....	58
4.2.3 Fase 3: Seleção do produto .....	59
4.2.4 Fase 4: Projeto preliminar .....	59
4.2.5 Fase 5: Construção do protótipo .....	59
4.2.6 Fase 6: Testes .....	60
4.2.7 Fase 7: Projeto Final.....	61
4.2.8 Fase 8: Introdução .....	61
4.2.9 Fase 9: Avaliação .....	62
4.3 PROBLEMA ENCONTRADO.....	63
4.4 FASES DE MONTAGEM DO BOTÃO JOYSTICK.....	63



4.4.1	Posicionamento do <i>joystick</i> no fixador.....	63
4.4.2	Adesivagem .....	63
4.4.3	Montagem da chave de acionamento.....	64
4.4.4	Soldagem do cabo flexível.....	65
4.4.5	Teste .....	65
4.4.6	Reparo .....	66
4.5	IMPACTO DOS PROBLEMAS ENCONTRADOS .....	67
4.5.1	Baixa produtividade .....	67
4.5.2	Alto índice de defeitos .....	67
4.5.3	Alto custo de produção.....	67
4.6	IMPLANTAÇÃO DA MELHORIA NO PROCESSO PRODUTIVO .....	68
4.6.1	Redução da ponta do dosador .....	68
4.6.2	Inserção de cola diretamente na chave de acionamento .....	69
4.6.3	Uso de papel no processo de dosagem.....	69
4.7	IMPLANTAÇÃO DA MELHORIA NO DESIGN DO PRODUTO .....	70
4.8	CICLO PDCA .....	71
4.8.1	Planejamento ( <i>Plan</i> ) .....	71
4.8.2	Execução ( <i>Do</i> ) .....	72
4.8.3	Verificação ( <i>Check</i> ).....	73
4.8.4	Ação ( <i>Action</i> ).....	73
4.10	RESISTÊNCIA E COMPOSIÇÃO DO MATERIAL.....	73
4.11	RESULTADOS OBTIDOS.....	74
4.11.1	Teste de desencaixe.....	74
4.11.2	Medidas antes da solução.....	75
4.11.3	Medidas depois da solução.....	75
4.11.4	Testes de vibração e queda .....	77
4.11.5	<i>Benchmarking</i> .....	78

4.12 FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS PARA VALIDAÇÃO DE RESULTADOS	
79	
<b>4.12.1 Aplicação da Lógica <i>Fuzzy</i></b> .....	<b>79</b>
4.13 OUTROS ASPECTOS .....	86
<b>4.13.1 Área de contato</b> .....	<b>86</b>
<b>4.13.2 Expansão</b> .....	<b>88</b>
<b>4.13.1 Valor mínimo crítico após melhoria</b> .....	<b>90</b>
<b>4.13.3 Tração</b> .....	<b>91</b>
4.14 RESULTADOS OBTIDOS.....	92
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>94</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>94</b>
5.1 CONCLUSÕES .....	95
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	95
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>96</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>106</b>
<b>APÊNDICE</b> .....	<b>115</b>

# CAPÍTULO 1

---

## 1 INTRODUÇÃO

O mundo atual tem exigido cada vez mais que empresas inovem e melhorem continuamente seus produtos por meio do incremento dos recursos tecnológicos (LASTRES & CASSIOLATO, 2000). Em todo cenário mundial, essas organizações passam por mudanças constantes e muitas delas estão relacionadas ao aumento de competitividade e, em alguns casos, por questões de sobrevivência (FREITAS & MERINO, 2016). Tais resultados são alcançados com investimentos contínuos em inovação e melhorias em seus produtos e/ou processos. Contudo, Morgan (2008) deixa claro que essa sistemática exige também um alto nível de qualidade aliado à redução de custos operacionais.

Pereira *et al.* (2009) ressalta que a qualidade de um serviço ou produto são os principais responsáveis pela sobrevivência e sucesso de um determinado negócio no mercado, onde cada vez mais as corporações se empenham acirradamente na busca de qualificação para os seus colaboradores como também melhoria de máquinas e equipamentos. Por conta disso, as engenharias envolvidas possuem um papel fundamental na orientação desse processo.

Neste contexto, deve-se pensar na engenharia em sua totalidade, desde o *design* de produto, seu processo de desenvolvimento, teste e de produção em massa. Não é suficiente um produto ter uma boa funcionalidade e aparência, se seu operacional de montagem é complexo, lento e instável. Precisa-se pensar como o mesmo será produzido em larga escala, na sua montabilidade, na quantidade de conexões envolvidas, nos problemas de qualidade, nas questões ergonômicas e nos custos de produção (DAUZÈRE-PÉRÈS *et al.*, 2002).

Esse estudo de caso aborda a situação de um produto que se enquadra numa situação peculiar, onde sua funcionalidade, aparência, qualidade e custo são satisfatórios. No entanto, seu *design* no processo de produção em massa apresenta pontos onde há grande necessidade de melhorias. Trata-se de um monitor de computador encomendado por um grande cliente do mercado de informática, cujo produto é fabricado por uma grande empresa multinacional em regime de OEM (*Original Equipment Manufacturer*), ou seja, quando um fabricante monta e desenvolve produtos para outras empresas. Neste caso, o referido produto monitor apresentava altos índices e defeitos na montagem do botão joystick devido a problemas de infiltração de cola instantânea no dispositivo de acionamento.

Veríssimo *et al.* e (2003) e Rennels (1984) concordam em dizer que atualmente tolerar

defeitos no processo por conta de problemas de *design* se tornou inconcebível. Mesmo havendo margem financeira, é imprescindível que a empresa priorize o processo e melhoria contínua da qualidade com vistas à otimização do *design* de produtos até a aplicação de ferramentas de qualidade para obtenção de produtos mais confiáveis que proporcionem maiores ganhos financeiros.

Diante desse exposto, nota-se, nas últimas décadas, o surgimento de várias ferramentas de qualidade, visando assegurar a fabricação de produtos e/ou prestação de serviços com baixos índices de defeitos (SHARMA, 2013). Neste sentido, o ciclo PDCA criado em 1930 por Walter Shewhart e popularizado na década de 1950 por William Edwards Deming, serviram de base para aplicação de melhorias do *design* e também no processo de fabricação referidos neste estudo de caso (BEST & NEUHAUSER, 2006).

Outra ferramenta utilizada para a melhoria de *design* de produto e processo neste estudo de caso foi o Diagrama de Causa e Efeito, ou Diagrama de Ishikawa. Essa ferramenta gerou avanços significativos na melhoria da qualidade de produtos e processos nas empresas (BIALY & RUZBARSKY, 2018). Considerando que o processo de resolução de problemas é um dos pilares da Gestão da Qualidade, o Diagrama de Ishikawa tornou acessível e simples a utilização de uma ferramenta poderosa de análise de causa que pudesse ser usada por não especialistas da área.

Ishikawa e Deming usaram esse diagrama como uma das primeiras ferramentas no processo de gerência da qualidade.

O atual cenário de crescente importância da qualidade em todos os setores favorece a necessidade deste estudos, não somente nas indústrias e empresas de transformação, mas também no setor de serviços. Afinal, satisfazer as necessidades do consumidor tornou-se um dos objetivos centrais das organizações e um meio para avaliar seu desempenho global, segundo (MARCHETTI e PRADO, 2001).

Por fim, umas das formas de saber se uma empresa está cumprindo sua missão é mensurar sistemicamente seus indicadores de qualidade e produtividade, analisando falhas, elaborando lições aprendidas, reduzindo custos e buscando continuamente formas de melhorar seus produtos e serviços.

## 1.1 JUSTIFICATIVA DA DISSERTAÇÃO

Por se tratar de um produto essencial para ao atendimento da demanda constante de

tecnologia mundial, os monitores de computador têm sido comercializados desde a década de 70. Naquele momento, estava em processo a terceira revolução industrial, que durou de 1950 a 2010, trazendo consigo a substituição gradual da eletrônica analógica pela digital, pelo uso de microcomputadores e criação da *internet*.

O monitor é um produto fabricado em âmbito global, devido à sua grande utilização no mundo tecnológico e disponibilidade abundante de fornecimento de matéria-prima, da qual a grande parte da mesma é adquirida do maior exportador do mundo, a China. O país asiático é um dos mais importantes fornecedores de componentes da indústria brasileira e do Polo Industrial de Manaus (PIM).

O início da fabricação de monitores no PIM aconteceu por volta os anos 2000. Desde então, por conta da fase positiva ocorrida no cenário socioeconômico do Brasil, a demanda pelo produto vem aumentando ano após ano. Neste contexto, esse crescimento foi impulsionado ainda mais pela política de Zona Franca baseada em incentivos fiscais.

Dentre os modelos de indústria da região, o polo eletroeletrônico se destaca pela tecnologia de fabricação e de seus produtos, pelo volume faturado e pela cadeia de fornecedores que se forma para seu suprimento. Os incentivos fiscais tornaram os produtos fabricados nessa região mais competitivos do que os de outros estados do País, visto que o custo de produção ficou mais baixo (CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 2010).

Portanto, essa pesquisa se justifica por responder a uma questão essencial, o objeto da pesquisa, qual seja: quão essencial é a melhoria do *design* nss organizações? Quais engenharias podem contribuir para essas melhorias? Qual o impacto dessas melhorias no processo produtivo?

Este estudo também foi motivado pela aplicação da metodologia PDCA e as ferramentas da qualidade como Diagrama de Ishikawa, pelas seguintes razões:

- São de fácil aplicação por colaboradores de nível operacional, gerando engajamento e comprometimento em relação aos objetivos da organização, além de contribuírem academicamente para a realização da pesquisa.
- Apesar de simples, possuem características fortes e determinantes na estruturação de atividades visando analisar problemas e propor soluções de melhorias qualitativas e qualitativas no processo produtivo.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Geral

Implementar melhorias no processo de fabricação de um monitor de LCD que apresenta falhas de montagem, aplicando a metodologia PDCA, lógica Fuzzy e de qualidade.

### 1.2.2 Específicos

- Analisar processo produtivo da fabricação do novo monitor;
- Avaliar e definir quais estratégias devem ser utilizadas para melhoria do produto;
- Implementar as ações para mudança de *design*;
- Apresentar e validar os resultados das ações.

## 1.3 ORGANIZAÇÃO DOS CAPÍTULOS

O **capítulo 1** apresenta a motivação, os objetivos, as contribuições da dissertação e a forma de organização do trabalho.

O **capítulo 2** apresenta uma revisão sobre resolução de problemas de qualidade, com aplicação de métodos e ferramentas de análise e gestão de qualidade, com foco em soluções em problemas de qualidade e melhoria de *design*, além de uma abordagem computacional sobre o tema.

O **capítulo 3** é dedicado a metodologia utilizada na pesquisa com base no ciclo PDCA e aplicação de ferramentas de qualidade.

No **capítulo 4** são apresentados os resultados esperados.

Por fim, no **capítulo 5** são apresentadas as conclusões, sugestões para trabalhos futuros e referências utilizadas no estudo.

# CAPÍTULO 2

---

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO

Conforme Slack *et al.* (2009), a administração da produção é uma atividade orientada para a produção de um bem físico ou para a prestação de um serviço, tendo como função administrativa a responsabilidade pelo desempenho de técnicas de gestão da produção de bens e de serviços ligando também a finalidade de desenvolver serviços e produtos. Chiavenato (1991) complementa dizendo que cada empresa adota um sistema de produção para realizar as suas operações e produzir seus produtos ou serviços da melhor maneira possível e, com isto, garantir sua eficiência e eficácia.

Chiavenato (2005) ainda afirma que as organizações são constituídas de recurso como edifícios, instalações, máquinas, equipamentos, dinheiro etc. além disso, há necessidade de pessoas com habilidade e capacidade para operar estas organizações de modo que a mesma possa atingir os objetivos estratégico e operacionais.

Gestão da Produção é a atividade de gerenciamento de recursos escassos e processos que produzem e entregam bens e serviços, visando a atender as necessidades e/ou desejos de qualidade, tempo e custo de seus clientes (ZALUSKI *et al.*, 2017). Toda organização, vise ela ao lucro ou não, tem dentro de si uma função de produção, pois gera algum “pacote de valor” para seus clientes que inclui algum composto de produtos e serviços, mesmo que, na organização, a função de produção não tenha este nome.

Pode-se dizer que o gerenciamento da produção é, sobretudo, um assunto prático que trata de problemas reais, pois tudo o que vestimos, comemos e utilizamos passa de alguma maneira por um processo produtivo (SLACK *et al.*, 2009), e organizar este processo eficaz e eficientemente é o objetivo da Gestão da Produção de Bens e Serviços.

#### 2.1.2 Sistema de Administração da Produção

Segundo Chiavenato (1991), cada empresa adota um sistema de produção para realizar as suas operações e produzir seus produtos ou serviços da melhor maneira possível e, com isto, garantir sua eficiência e eficácia. Para atingir os objetivos estratégicos da organização e

necessário um conjunto de técnicas e lógicas que podem ser utilizadas para esta finalidade, chamando genericamente de Sistemas de Administração da Produção os sistemas de informação que apoiam as tomadas de decisões, táticas e operacionais buscando definir:

- O que produzir e comprar;
- Quanto produzir e comprar;
- Quando produzir e comprar;
- Com que recursos produzir.

Segundo Corrêa *et al.* (2008), o mundo competitivo de hoje demanda que os sistemas produtivos consigam se adaptar rapidamente às mudanças: mudanças nos processos produtivos, na disponibilidade de suprimentos e, sobretudo, na demanda.

Com base nesta ideia, Okhuysen (2009) observa que planejar atividades no processo produtivo que está sendo coordenado decorre tempo até se passar para a execução das atividades, e mesmo se adequando a mudanças propostas e exigidas, é necessária sensibilidade para identificar os desvios em relação ao que foi programado e replanejar o futuro conforme as ocorrências, pois durante a execução por diversas razões a produção pode não se comportar conforme planejado.

### **2.1.3 Projeto do produto ou serviço**

De acordo com Morelli (2002), para se fabricar um produto ou criar um serviço, é preciso elaborar o projeto do processo que irá gerar esse produto ou serviço. Esses projetos devem ser elaborados simultaneamente, pois estão inter-relacionados. Muitas empresas projetam primeiro o produto e, a partir dele, definem o processo de produção. Isso, muitas vezes, não se mostra como a melhor forma de sucesso do empreendimento.

Já se constatou que melhores resultados de qualidade, tempo de fabricação e custos podem ser obtidos quando os projetos dos produtos e de seus processos de fabricação são concebidos conjuntamente (CORREIA, 2021).

Manzini e Rizzo (2011) explicam que o primeiro estágio de um projeto é a concepção, uma ideia geral, vaga e até mal definida do que pode ser uma solução para uma necessidade percebida. Em sua evolução, essa ideia é refinada e progressivamente detalhada, até que contenha informações suficientes para ser transformada em um produto ou serviço através de um processo.

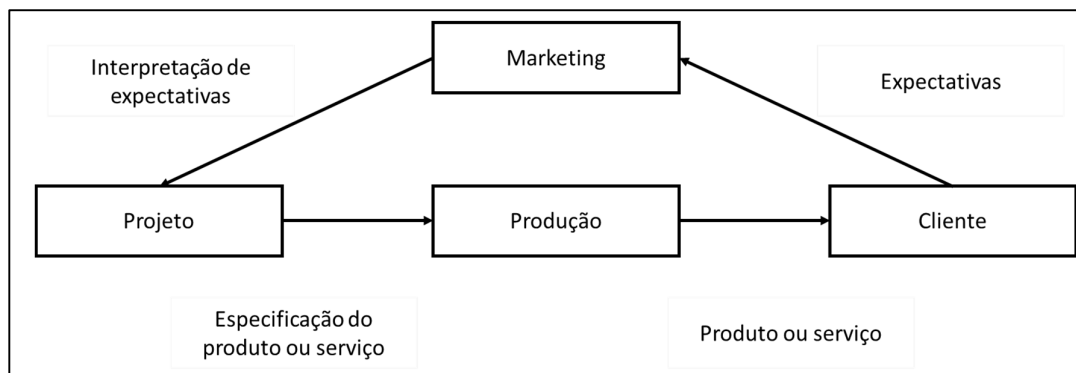


Dessa forma, a primeira tarefa do *marketing* é reunir informações dos clientes para compreender suas necessidades e expectativas e encontrar oportunidades no mercado (GONÇALVES e BARROS, 2011).

Depois disso, os projetistas analisam essas necessidades e expectativas como foram interpretadas pelo *marketing* e procuram criar uma especificação para um produto ou serviço (COLENCI, 2000).

Conforme Correia (2021), criado o produto, ele é posto no mercado, e sua aceitação é avaliada, gerando novas informações para o *marketing* rever ou não o produto. Os detalhes deste processo podem ser verificados na Figura 2.1:

Figura 2.1 - Ciclo de realimentação cliente-marketing-projeto.



Fonte: GAITHER, N. ; FRAZIER (2001).

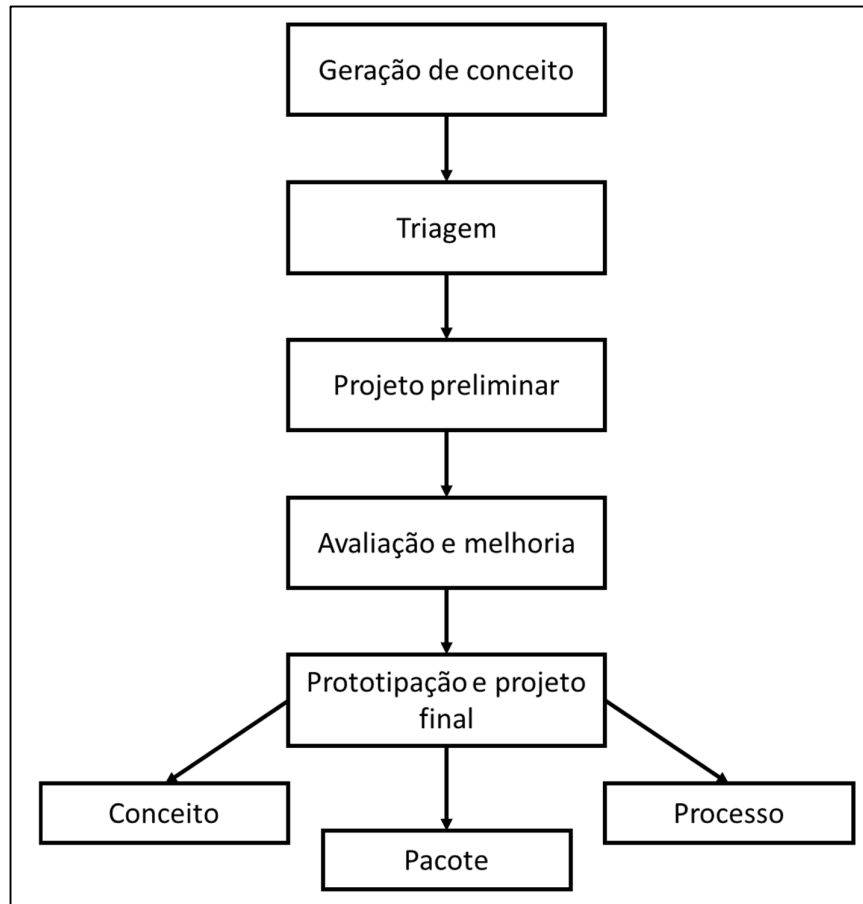
Ainda Correia (2021) afirma em seus textos que produtos e serviços adquiridos pelos clientes são entendidos por eles como “conceitos” e que, em geral, pode-se entender um serviço como um produto oferecido. Dessa forma, um produto pode ser referido como um produto ou serviço.

O resultado da atividade do projeto é uma especificação detalhada do produto. Assim, Correia (2021) enumera essas atividades conforme a seguir:

- O conceito global com a forma, função e o objetivo do projeto e seus benefícios.
- O pacote, que irá especificar todo o conjunto de produtos necessários para preparar e apoiar o conceito.
- O processo pelo qual o pacote será criado, especificando como os vários produtos e serviços serão produzidos.

Os projetos de produtos podem ser divididos em seis fases, como mostra a Figura 2.2.

Figura 2.2 - Etapas de um novo produto ou processo.



Fonte: RITZMAN, L. P. ; KRAJEWSKI, L. J. (2004).

Horn *et al.* (2013) explica que um projeto é iniciado com a geração do conceito. A ideia para conceitos de novos produtos pode vir de fontes externas à organização (consumidores, concorrentes, pesquisa de mercado, etc.) ou de fontes de dentro da organização (funcionários, *marketing*, pessoal de vendas, departamento de P&D etc.). Então, cabe às empresas se movimentarem para captar e provocar reações que resultem nesses conceitos.

Conforme Correia (2021) ensina em sua pesquisa, os projetistas precisam ser seletivos na escolha dos conceitos nos quais trabalharão até o ponto de projetar os aspectos preliminares. Essa seleção passa, também, por quatro fases anteriores, que juntas se configuram como a triagem:

1. Crivo técnico, onde os próprios projetistas eliminam as alternativas de projeto inviáveis tecnicamente.

2. Crivo do *marketing*, o qual eliminará os conceitos que funcionarão nos mercados, que sejam muito semelhantes a produtos já existentes, incapazes de gerar demanda compensadora

dos esforços e inadequadas à política de *marketing* da empresa.

3. Crivo da função produção, que verificará se existe na empresa capacidade de produção, habilidades de seus recursos humanos e nível tecnológico exigido.

4. Crivo financeiro, que trata de verificar as necessidades de capital e investimento, avalia custos operacionais, suas margens de lucro e sua taxa de retorno.

Gerado um conceito de produto aceito pelos diversos departamentos envolvidos, Lovato (2005) descreve que na etapa seguinte deve-se criar um projeto preliminar com a primeira versão das especificações dos produtos componentes do pacote e a definição dos processos para criação do produto. Para essa etapa, são utilizados os Diagramas de Fluxos, que identificam os principais elementos de um processo e a sequência das atividades, como visto na disciplina Administração de Projetos.

Baduy (2014) explica que, com base na análise no projeto preliminar, deve ser feita uma avaliação do produto e de todas as melhorias sugeridas antes de o produto ser prototipado. Nessa análise, são utilizadas técnicas visando:

- Assegurar que o produto atenda às necessidades de seus clientes. Existe uma técnica chamada Desdobramento da função qualidade (QFD – *Quality Function Deployment*), desenvolvida pela Mitsubishi, em Kobe, a qual, resumidamente, procura captar o que o cliente precisa.
- Reduzir custos desnecessários (Engenharia de Valor). Basicamente, visa eliminar custos que não contribuam para o valor e o desempenho do produto ou serviço, reduzindo o número de componentes, usando materiais mais baratos e simplificando processos.

À medida que o projeto do produto vai sendo montado em suas várias fases, o projeto do processo de fabricação vai sendo definido, passando pelas seis mesmas fases mostradas na Figura 2.2. Na fabricação do produto já vai sendo definido o melhor processo a ser utilizado (RITZMAN & KRAJEWSKI, 2004).

## 2.2 FERRAMENTAS DA QUALIDADE

### 2.2.1 PDCA

O PDCA é um método de gerenciamento de processos ou de sistemas. É o caminho para se atingirem as metas atribuídas aos produtos dos sistemas empresariais (CAMPOS, 2014).

Portanto, é necessário se determinar uma meta para a utilização dessa metodologia.

De acordo com Andrade (2003), o ciclo PDCA é projetado para ser usado como um modelo dinâmico em que a conclusão de um ciclo irá fluir no começo do próximo ciclo, e assim sucessivamente. Além disso, o mesmo afirma que, o processo sempre pode ter uma nova análise, implicando em novo processo de mudança.

Essa metodologia que tem como função básica o auxílio no diagnóstico, análise e prognóstico de problemas organizacionais, sendo extremamente útil para a solução de problemas. Poucos instrumentos se mostram tão efetivos para a busca do aperfeiçoamento quanto este método de melhoria contínua, tendo em vista que ele conduz a ações sistemáticas que agilizam a obtenção de melhores resultados com a finalidade de garantir a sobrevivência e o crescimento das organizações (QUINQUIOLO, 2002).

O Ciclo PDCA está dividido em quatro fases bem definidas e distintas, e que de acordo com ANDRADE (2003), pode ser descrito da seguinte forma:

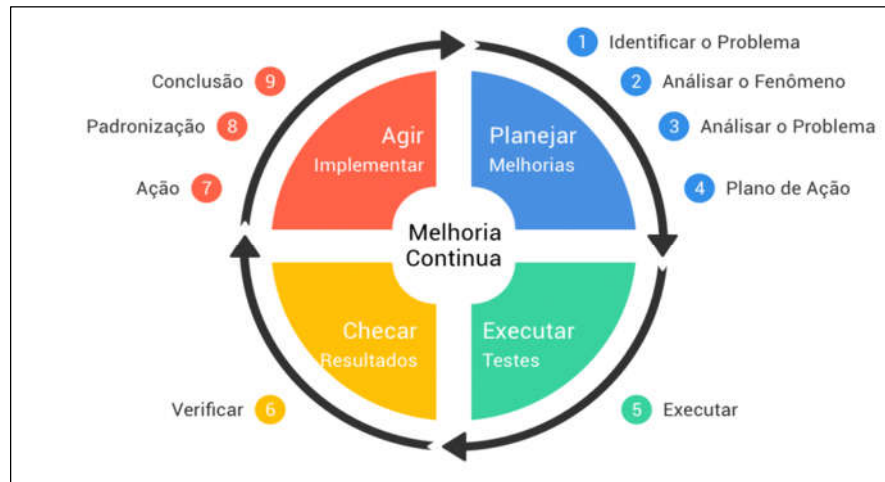
*Plan* (Planejar): estabelecer os objetivos e os processos necessários para fornecer resultados conforme os requisitos do cliente e políticas da organização. Esta etapa abrange: a localização do problema, o estabelecimento de uma meta, a análise do fenômeno (utilizando diagramas estatísticos), a análise do processo (utilizando do diagrama de causa e efeito) e a elaboração do plano de ação;

*Do* (Fazer): implementar os processos, ou seja, execução das ações estabelecidas no plano de ação definidas na fase anterior, realizadas no cronograma determinado, tendo todas as ações registradas e supervisionadas;

*Check* (Checar): nesta fase deve-se executar a verificação da eficácia das ações tomadas na fase anterior. Utilizando para a mesma a comparação dos resultados (planejados e executados), listagem dos efeitos secundários (oriundos das ações executadas), verificação da continuidade ou não do problema (eficácia das ações tomadas);

*Action* (Agir): esta fase é responsável pela padronização dos procedimentos implantados na fase “Do”, ou seja, sendo o resultado satisfatório deve-se padronizar essas ações, transformando-as em procedimentos padrão. Para realizar essa padronização é conduzida a elaboração ou alteração do padrão, comunicação, treinamento e acompanhamento da utilização do padrão. A conclusão do projeto também ocorre nessa fase, sendo que poderão ser estipuladas novas metas futuras para que o processo de melhoria contínua possa ser desencadeado.

Figura 2.3 - Ciclo PDCA – Método de Controle de Processo.



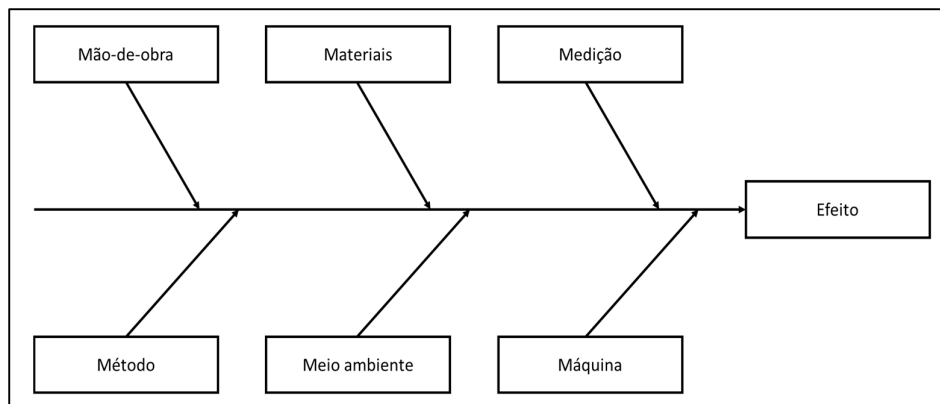
Fonte: CAMPOS (2014).

## 2.2.2 Ishikawa

O Diagrama de causa e efeito ou espinha de peixe, ou Diagrama de Ishikawa, foi aplicado pela primeira vez em 1953 no Japão por Kaoru Ishikawa professor da Universidade de Tóquio, com o intuito de sintetizar as opiniões dos engenheiros quando estes discutiam sobre problemas de qualidade e também para explicar como vários fatores poderiam ser comuns entre si e estar relacionados (CARNEIRO & FERREIRA, 2019).

Este ficou conhecido como Diagrama de Ishikawa (Figura 2.4) sendo uma representação gráfica que permite organizar informações para identificar as possíveis causas e efeitos de um problema, mostrando a relação entre o efeito e as causas que possam estar contribuindo para que o mesmo ocorra (GIOCONDO, 2011).

Figura 2.4 - Diagrama de Ishikawa.



Fonte: Adaptado de GIOCONDO (2011).

Pode-se observar que o próprio diagrama não identifica as causas do problema, ele organiza eficazmente a busca das causas, funcionando como um meio para potencializar o desenvolvimento de uma lista das possíveis causas que contribuíram para o efeito (CARPINETTI, 2012).

Segundo Giocondo (2011) normalmente este diagrama é utilizado para visualizar em conjunto as causas principais e secundárias de um problema, ampliar as possíveis causas do problema, enriquecer sua análise e a identificação de soluções, assim como a analisar o processo em busca de melhorias.

### 2.2.3 Kaizen

A aplicação da ferramenta *Kaizen* nas organizações teve início logo após a Segunda Guerra Mundial no Japão. Nessa época o país passava por uma situação difícil, visto que havia perdido a guerra e suas empresas precisavam crescer, mas não havia capital para ser investido e não havia a possibilidade de incentivo por parte do governo (LILLRANK, 1995).

Sallis (2019) explica que as empresas japonesas precisavam produzir com qualidade e trabalhar com preços competitivos, mas não haviam máquinas sofisticadas ou automáticas como nas empresas americanas. Os japoneses viram então a necessidade de se tornarem mais criativos na área de produção para serem mais competitivos no mercado. As leis trabalhistas incentivaram melhores condições de trabalho e com isso muitos sindicatos de diversas categorias lutaram para que as remunerações dos funcionários fossem mais altas. Constatando a situação do país, o governo iniciou um programa de estudos na área da Administração Clássica. A Teoria Clássica da Administração de Taylor contribuiu para que os japoneses criassem o *Kaizen*. Em julho de 1950, o governo japonês se aliou à União Japonesa de Cientistas e Engenheiros e convidou o americano Willian Edwards Deming (1900 a 1993) para conduzir palestras sobre “Controle Estatístico de Qualidade” nas empresas. Para ele, o objetivo do administrador é otimizar todo o sistema, empregando a harmonia, importância da constante pesquisa em projeto, produção e vendas, visando atender todas as necessidades do mercado e do cliente oferecendo produtos de melhor qualidade. Após se dedicar, no início da década de 70 as empresas japonesas começaram a mostrar sua evolução na produtividade, qualidade e eficiência. Isso chamou a atenção de vários estudiosos, empresários e jornalistas que iniciaram o acompanhamento nesta evolução.

Fonseca (2016) afirma que o *Kaizen* tem sido chamado de “a filosofia mais poderosa da administração” por possuir ferramentas que envolvem todos na empresa, em busca de melhoria

dos negócios. Traduz-se *Kaizen* como *Kai* = melhoria / *Zen* = contínua, onde não significa somente fazer melhor as coisas, mas procurar também conquistar resultados específicos como eliminação de desperdício, de tempo, dinheiro, material e esforço; elevando a qualidade de produtos, serviços, relacionamentos, conduta pessoal e desenvolvimento de empregados, reduzindo os custos de projeto, fabricação, estoque e distribuição; transformando o atendimento ao cliente em um processo natural e interminável.

Kaizen é baseado em um sistema simples de resoluções dos problemas e qualquer ideia, por mais simples que seja, deve ter total atenção. O erro de muitas estratégias de qualidade é de se concentrarem em sistemas muito formais no combate ao desperdício. Na verdade, a metodologia Kaizen, não está ligada à ideia de sofisticação, mas às razões simples e baratas, unidas ao bom senso (FONSECA, 2016).

#### 2.2.4 Gestão da Qualidade

Gerenciamento da Qualidade significa um modo de organização das empresas para garantir produtos e serviços com qualidade, que envolvem alta conformação às especificações, aparência atrativa do produto, respostas rápidas às mudanças de especificações, baixas taxas de defeitos, tempo curto de manufatura e aspectos tecnológicos tais como: tecnologia básica de processo, tecnologia dos materiais, tecnologia envolvida no processo de manuseio e tecnologia de produção. O uso destas tecnologias associadas ao processo da Gestão da Qualidade possibilita aumento da produtividade, por conseguinte, influencia a sua própria competitividade. Essas tecnologias podem representar um fator estratégico e competitivo para o ambiente operacional, com relação a grande variedade de opções de arranjos do fluxo de trabalho que refletirá no pronto atendimento ao cliente (DE CASTRO, 2006).

O gerenciamento da qualidade total é uma abordagem voltada para as operações gerenciais. A qualidade é inserida em um produto durante o processo operacional, e não acrescentada a ela na fase de inspeção. A qualidade de um produto é influenciada por seu *design*, pela qualidade de matérias-primas e pelo desempenho dos empregados (SAMSON & TERZIOVSKI, 1999).

Lobo *et al.* (2003) confirmam que a qualidade observou diferentes abordagens ao longo do tempo sendo até hoje fator de sucesso para as empresas. Com o acirramento da competição a qualidade passou a ser uma questão de sobrevivência no mundo empresarial. No Brasil, a partir do início da década de 90, vem sendo observado grande movimento em prol da melhoria

da qualidade de produtos e serviços. A criação de programas, tais como, o Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade, a abertura econômica que expôs as empresas brasileiras a um ambiente de grande competição, a evolução do cidadão brasileiro enquanto consumidor, que passou a exercer mais plenamente seus direitos e deveres e a estabilização da moeda foram fatores indutores e decisivos para esse movimento. A qualidade deixou de ser preocupação exclusiva dos técnicos, para ser de todos. O conceito atual é que qualidade é adequação ao uso, cujos requisitos devem estar preestabelecidos. O mercado globalizado vem demandando novas abordagens em termos da questão da qualidade. Uma adequada gestão pela qualidade, com decisiva contribuição para alavancar a competitividade, foi decisiva para a sobrevivência das empresas.

### **2.2.5 Métricas das ferramentas da Qualidade**

As métricas de qualidade fazem parte do PGQ (Plano de Gerenciamento da Qualidade) e podem ser definidas como um dado real referente ao desenvolvimento de determinado processo relativo a um projeto (serviço ou produto). Ou seja, uma métrica se refere ao resultado obtido ao se medir uma “ação”, sendo que esse dado resulta de uma análise feita a partir de definições específicas (SOARES & SOARES, 2014).

Basicamente, pode-se dizer que a métrica define como o processo em questão será medido, quais serão os atributos a serem considerados, sendo que o objetivo final (o dado almejado) também é definido previamente. Exatamente por isso, um mesmo projeto pode (e deve) ter diversas métricas de qualidade.

Conforme Abreu (2015), uma métrica de qualidade é uma definição operacional que descreve, em termos bem específicos, um atributo do projeto ou do produto, e como o processo de controle da qualidade irá medi-lo.

Uma métrica é medida e possui um valor real. Caso o valor real estiver no limite de tolerância definido, o valor é considerado uma variação aceitável (ABREU, 2015).

Segue exemplos de métrica de qualidade, segundo Montes (2001):

- Atributo: Atendimento do SAC;
- Requisito: Rápido Atendimento do SAC;
- Indicador: % de chamadas respondidas no primeiro toque;
- Meta: Responder 99% das chamadas no primeiro toque;



- Atividade de garantia: Determinar % das chamadas no primeiro toque durante período de 48 horas.

**Tabela 2.1 - Exemplo de métricas da qualidade.**

Requisito	Indicador	Meta	Técnica de Medição	Frequência	Quem mede
Rápido atendimento do SAC	% de chamadas respondidas no primeiro toque	% de chamadas respondidas no primeiro toque > 99%	Contar números de chamadas total e quantas foram atendidas no primeiro toque	48 horas	Supervisor SAC

Fonte: MONTES (2001).

### 2.3 DESIGN DO PROCESSO

Brambilla *et al.* (2010) afirmam que o *design* de processos constitui-se em desenhar novos processos e transformar processos de negócio. Tipicamente constitui-se em atividades analíticas, criativas, de descrição visual e lógica dos passos de processos e na forma de organização do trabalho.

Desenho de processos é uma etapa que ocorre depois das etapas de análise e descoberta. Seu objetivo é criar uma versão melhorada e otimizada, que atenda todas as expectativas de desempenho do processo e necessidades estratégicas do negócio.

Existem técnicas para encontrar o melhor desenho. Essas ferramentas estão listadas no PMBOK (2017):

- Metas e objetivos;
- Desempenho;
- Fluxo de trabalho;
- Plataformas e tecnologias;
- Fonte de dados;
- Controles operacionais e financeiros;
- Integração com outros processos.

Roos (2016) ressalta que todo trabalho de preparação do projeto visa transformar a cadeia de valor agregado entregue para o cliente em algo que ele perceba como valioso e pelo qual esteja disposto a pagar um valor que remunera a empresa, gerando lucro e riqueza.

Este conceito é ainda mais importante em se tratando de serviços, principalmente

quando o contato com pessoas é constante, como restaurantes, hotéis e hospitais. Dessa forma, os benefícios da padronização do *design* de processos explicados por Münstermann (2010) podem ser resumidos da seguinte forma:

- Facilita a operação: processos padronizados representam procedimentos mais simples e fáceis de conhecer e memorizar. Isso impactará na produtividade e também na segurança.
- Maior produtividade: à proporção que a equipe possui menos dúvidas e comete menos erros.
- Maior qualidade em produtos e serviços: a padronização é percebida pelo cliente, que a utiliza para formar o conceito de qualidade do seu negócio.

Um bom *design* de processo tem impacto direto na rentabilidade e sucesso de uma empresa. Quanto melhores os processos, melhores os resultados (DE SOUSA *et al.*, 2019).

## 2.4 DESIGN DO PRODUTO

Kurt (2019) explica que o *design* de produto como é conhecido hoje surgiu a partir da Revolução Industrial, no século 18. Desde esse momento da história, empresas que oferecem bens de consumo se preocupam com o *design* também para se diferenciar da concorrência e conquistar nichos de mercado.

O *design* consiste em uma atividade projetual que nasceu com a industrialização para criar produtos racionais passíveis de serem produzidos em larga escala para atender à demanda do mercado. Löbach (2001) entende que o *design* compreende a concretização de uma ideia em forma de projetos ou modelos, mediante a construção e configuração resultando em um produto industrial passível de produção em série”. As transformações do capitalismo no último século, porém, trazem consequências para a atividade do *design*.

Se na virada do século XIX para o século XX, o alicerce do capitalismo era o produto, a produção em massa (KOTLER, 2006), o bem imóvel, a fixação do trabalhador à fábrica, o tangível; a partir das décadas de 1950 e 1960, com a saturação do mercado, culminando com a crise do petróleo (HARVEY, 2007), a flexibilização passa a ser a tônica do capitalismo tardio.

A modernidade líquida, a que se refere Bauman (2001), se caracteriza pela mobilidade, pelo crescimento do setor de serviços e para a capacidade de produção não apenas em série, mas também *on demand*. Portanto o conceito de *design* vem sofrendo mudanças, dado que a

própria área busca se adaptar à nova realidade econômica.

De acordo com o *International Council of Societies of Industrial Design* (ICSID), o *design* é uma atividade criativa cujo objetivo é estabelecer as qualidades multifacetadas de objetos, processos, serviços e seus sistemas em ciclos de vida completos. Portanto, *design* é o fator central de humanização inovadora de tecnologias e o fator crucial de intercâmbio cultural e econômico. Essa definição, mais atual, aponta para novas questões que importaram ao *design*, como o impacto da área para a sociedade e a inclusão humana, para além do foco apenas no objeto projetado (LAURO, 2013).

Ainda que os produtos de *design* sempre tenham sido projetados para um usuário, a inclusão deste último no projeto de *design* (*user-centered design*) é recente, datando da década de 1980 (SANDERS, 2002). Esse paradoxo decorre do fato de a produção capitalista do início do século XX ter como foco a produção. Como havia escassez de bens no mercado, a indústria se preocupava apenas em incrementar sua produção, sem se preocupar se os objetos atendiam às necessidades e aos desejos dos consumidores. O modelo fordista consistiu em um sucesso nas primeiras décadas do século XX, pois toda a produção escoava rapidamente. No entanto, gradualmente, com a saturação de produtos no mercado e o contínuo crescimento da produção, houve a necessidade de se repensar o processo de *design*, incluindo o usuário, porque ao conhecer suas necessidades havia uma possibilidade de fazer o *design* de bens que realmente atendessem seus interesses.

O entendimento de *design* e uso como uma dicotomia, segundo Redström (*apud* GUNN e DONOVAN, 2012) pode, por conseguinte, ser visto como uma consequência da forma de produção e de consumo de massa estabelecido no capitalismo duro. Ele não deve ser considerado como uma característica fundamental do *design*, mas sim como algo construído e como um estado transitório de um conceito de *design*.

Gunn e Donovan (2012) vão além do conceito de “usuário passivo” quando dizem que “as pessoas costumam usar coisas muito além do que os *designers* esperam. Isto sugere que as pessoas intervêm ativamente na configuração de produtos e sistemas nos próprios processos de seu consumo. Um processo de *design* não é impor fechamento, mas permitir a continuidade da vida cotidiana. Por isso, o projeto deve permitir as improvisações da vida, visto que o uso é uma forma de *design*. Essa ideia supera a concepção do *designer* como criador único dos objetos e torna o usuário passivo, um *skilled practitioner*.

## 2.5 PRINCÍPIOS DA RESISTÊNCIA DE MATERIAIS

Resistência dos materiais é o estudo da relação entre cargas que atuam em um corpo e a intensidade das cargas internas no interior desse corpo. Na Engenharia dos Materiais, a resistência dos mesmos é a capacidade de resistir a uma determinada força sobre ele aplicada, em função do processo de fabricação do material, de modo que os cientistas envolvidos aplicam vários processos para alterá-la (CARVALHO, 1979). Esse conhecimento vem desde a Antiguidade. Os egípcios, por exemplo, detinham grande domínio sobre a resistência dos materiais, visto que sem ele seria impossível construir estruturas tão grandiosas quanto as pirâmides do Egito.

Ainda Carvalho (1979) explica que grandes estudiosos, como Leonardo da Vinci e Galileu Galilei, ajudaram a enriquecer as teorias sobre mecânica e os materiais. Notavelmente, Galileu foi o responsável pela elevação dos estudos sobre a resistência dos materiais ao nível de ciência, em seu livro *Duas novas ciências*.

### 2.5.1 Torção: resistência dos materiais

Kamiński e Pawlak (2011) explicam que torção é a tensão que ocorre em um elemento construtivo ou um prisma mecânico, quando se aplica momento sobre seu eixo longitudinal. Podem tanto ser eixos quanto elementos nos quais uma dimensão é predominante a outras duas.

Geometricamente, a torção é caracterizada por toda e qualquer curva paralela ao eixo da peça, sem estar contida no plano formado pelas duas curvas iniciais. Ou seja, uma curva paralela ao eixo da peça se retorce ao redor desse (CARVALHO, 1979).

O estudo geral do movimento de torção é bastante complicado, visto que leva ao acontecimento de dois fenômenos: tensões tangenciais e deformações seccionais. E é essa deformação que complica muito o cálculo da tensão de resistência dos materiais, fazendo com que o momento torsor seja decomposto (FERREIRA, & BAIRÁN, 2011).

### 2.5.2 Flexão: resistência dos materiais

Na mecânica, o esforço físico da flexão ocorre quando há deformação perpendicular ao eixo do corpo do objeto, paralelamente à força atuante. A linha que une o centro de gravidade de todas as seções transversais do objeto constitui-se no eixo longitudinal, o qual está submetido a cargas perpendiculares ao eixo (CARVALHO, 1979).

Em engenharia, flexão é o tipo da deformação apresentada por uma estrutura alongada em uma direção perpendicular a esse eixo longitudinal. Denomina-se estrutura alongada quando uma das dimensões é dominante às outras. Vigas, placas e lâminas são exemplos dessa categoria de objeto (SCHNEIDER *et al.*, 2016).

Carvalho (1979) explica que quando um objeto é submetido à flexão, é a formação de uma curva paralela ao eixo neutro da estrutura, sendo que sua distância não varia em relação ao valor antes do processo de deformação.

### **2.5.3 Flambagem: resistência dos materiais**

A flambagem, também conhecida como encurvadura, consiste em um fenômeno que ocorre nas peças denominadas esbeltas, ou seja, aquelas nas quais a área da seção transversal é bastante pequena se comparada ao seu comprimento. Esse fenômeno se inicia quando as peças são submetidas a um esforço de compressão axial (GONÇALVES, 2019).

É considerada uma instabilidade elástica, de modo que a peça pode perder a estabilidade antes mesmo que o material atinja sua tensão de escoamento. O colapso sempre se dará ao redor do eixo de menor momento de inércia da seção transversal (RACHID, 1993).

### **2.5.4 Tensão e deformação: resistência dos materiais**

Tensão e deformação são dois conceitos muito importantes para a Física e a Engenharia. O conceito de tensão mecânica se refere ao valor da distribuição das forças por unidade de área.

A unidade oficial para tensão é o Pascal (Pa), que se refere à medida de força por unidade de área. Importante não confundir tensão com pressão, já que são expressas com a mesma unidade de medida (LEHMANN, 2016).

Segundo Oliveira (2016), na engenharia, geralmente, mede-se tensão em Megapascals (Mpa) ou Gigapascals (GPa). No Sistema Internacional de Unidades, um pascal (1 Pa) equivale à aplicação de um newton por metro quadrado (1 N/m<sup>2</sup>).

A tensão pode ser classificada como de tração, de compressão ou de cisalhamento, dependendo da direção e dos efeitos provenientes da aplicação da força. Já o conceito de deformação de um corpo ou estrutura corresponde a qualquer mudança da configuração da forma geométrica do corpo que resulte em uma variação da forma ou das dimensões do mesmo após a aplicação de uma tensão ou mesmo de variação térmica (PASCON, 2012).

Segundo Esposte (2018), deformações por tensão são classificadas em três categorias

diferentes, sendo elas:

- Deformação transitória ou elástica;
- Deformação permanente ou plástica;
- Ruptura.

Esposte (2018) explica que a deformação elástica resulta no retorno da estrutura ao estado original, após a aplicação da tensão ter sido finalizada. Isso acontece quando a força à qual a estrutura é submetida não consegue superar sua tensão de elasticidade.

Já a deformação plástica consiste na permanente alteração do estado da estrutura, de modo que ela não consegue retornar à sua forma original. Isso ocorre quando a mesma é submetida à chamada tensão de plasticidade, maior do que aquela aplicada na deformação elástica. Assim, há transição da fase elástica para a plástica (ESPOSTE, 2018).

Por fim, a deformação por ruptura resulta no rompimento da estrutura em múltiplas partes. Esse processo ocorre quando a mesma recebe tensão inicialmente maior que a responsável pela deformação plástica. Tende a diminuir após o processo ter início (ESPOSTE, 2018).

Assim, a força é igual ao deslocamento de massa a partir do ponto de equilíbrio, multiplicada pela constante da mola ou do corpo que sofrerá a deformação (ARANHA, 2016). Dessa forma:

$$F = K \cdot \Delta l \quad (2.1)$$

F é a força aplicada sobre o corpo elástico. Sua unidade está em newtons;

K é a constante elástica ou de proporcionalidade. Sua unidade está em newton/metro;

$\Delta l$  é a variável independente, ou seja, a deformação sofrida. Unidade em metros.

Aranha (2016) afirma ainda que na Lei de Hooke está uma grande variedade de forças em interação, de modo que a caracterização se dá como um trabalho experimental. Entre essas forças, podemos destacar as elásticas, exercidas pelos sistemas elásticos quando os mesmos sofrem deformação.

Ela pode ser utilizada sempre, desde que o limite elástico da estrutura a receber a tensão não seja excedido. Assim, o comportamento elástico dos materiais acaba por seguir o regime elástico proposto na Lei de Hooke, mas apenas até um certo valor da força. Após esse ser ultrapassado, a relação de proporção não é mais definida, mesmo que o corpo retorne à forma

inicial após remover-se a tensão (OLIVEIRA *et al.*, 2016).

Se a força continuar a ser aumentada, o limite elástico é rompido e a deformação segue para uma característica plástica, ou permanente, podendo resultar até mesmo na ruptura da estrutura. O instrumento utilizado para medir forças e que se utiliza da Lei de Hooke é chamado dinamômetro (PAULO, 2017).

Conforme Pacheco *et al.* (2014), é possível aplicar a Lei de Hooke também após a realização do ensaio de tração, a partir do qual se obtém o gráfico de comparação “Tensão *versus* Extensão”. Um padrão linear na porção inicial do gráfico significa que a tensão é proporcional à extensão, de modo que se observe uma constante de proporcionalidade entre ambas, de modo que:

$$\sigma = \varepsilon \cdot E \quad (2.2)$$

$\sigma$  corresponde à tensão, cuja unidade está em pascal;

$\varepsilon$  é a deformação específica ou elástica longitudinal do corpo de prova (adimensional);

$E$  é o módulo de elasticidade ou módulo de Young. Sua unidade está em Pascal.

Cabe destacar que o Módulo de Young (também conhecido como módulo de elasticidade) é um parâmetro mecânico que proporcionará a medida da rigidez de um determinado material sólido. É fundamental para as aplicações que envolvem a resistência dos materiais e mais ainda para a Engenharia, visto que se associa à descrição de várias propriedades mecânicas. Essa é uma propriedade intrínseca aos materiais, de modo que depende da composição química e da estrutura física dos mesmos. Pode ser obtida pela razão entre a tensão exercida no objeto e a deformação causada em decorrência disso (PACHECO *et al.*, 2014).

Quando se discute sobre a resistência e o comportamento dos materiais, a Lei de Hooke é uma das mais importantes. Ela é estudada em praticamente todo e qualquer curso de Engenharia, apesar de ter mais ênfase na Engenharia Civil e na Engenharia Mecânica. É fundamental que todo e qualquer material seja testado exhaustivamente, analisando as reações dos mesmos aos mais variados fenômenos (OLIVEIRA *et al.*, 2016).

Segundo Hibbeler (2005), a resistência dos materiais é um nicho da mecânica que estuda as relações existentes entre cargas aplicadas a um objeto externamente passível de deformação, além da intensidade que as forças internas podem atuar. Abrange o cálculo dessa deformação do material e o estudo da sua estabilidade, principalmente quando sujeito a tensões externas.

## 2.6 ENCAIXES MECÂNICOS

O processo de estabelecimento de *design* precisa considerar aspectos no processo de fabricação ou a simplificação da montagem de produtos tais como: análise de valores de tolerâncias, complexidade e *layout* do produto, total de peças, manufaturabilidade, custos, tempo de montagem, e modularidade. Deve ainda caracterizar-se pela análise individual das geometrias das peças, durante o projeto, que formarão o produto após a montagem, buscando facilitar a construção destes componentes e a redução de custos de ferramentas. Avalia o produto como um todo, com o objetivo de descomplicar a estrutura do mesmo, tornando assim o processo de montagem menos custoso e mais otimizado (CATAPAN *et al.*, 2008; KAMRANI e NASR, 2010).

Importantes autores como Ullman (2010) desenvolveram metodologias para melhorar a eficiência do processo e medir a qualidade de projetos a partir da montagem. Em uma de suas diretrizes: “faça o uso mínimo de fixadores separados” (ULLMAN, 2010).

É preciso estabelecer um método de utilização dos componentes produzidos no processo de fabricação com menor custo e maior precisão de montagem. Como a montagem de interferência pode falhar devido a deslizamento ou tensões excessivas, duas considerações principais devem ser consideradas (ALCAIDE, 2018). A primeira consideração é a necessidade de garantir que não haverá deslizamento nas superfícies de contato, nenhuma deformação plástica e falha no encaixe peças para interferência no projeto. Isso é simplesmente representado pelos dois fatores de segurança introduzidos. A segunda consideração é o custo de fabricação, sendo uma função das tolerâncias de fabricação das peças correspondentes.

Na fabricação em série, é necessário que as peças acopladas sejam passíveis de serem trocadas por outras, que tenham as mesmas especificações das peças originais. Assim, ao se fabricar componentes mecânicos é fundamental que certas peças ajustem-se reciprocamente ao montá-las, sem serem submetidas a tratamentos ou ajustes suplementares (SALES, 2008).

A possibilidade de se substituir umas peças por outras ao montar ou consertar um equipamento (ou conjunto mecânico) denomina-se intercambiabilidade.

Segundo Sales (2008), um requisito fundamental da intercambiabilidade é a seleção de um processo de fabricação que assegure a produção de peças com igual exatidão.

Não existe processo de fabricação capaz de produzir um número ilimitado de peças com exatidão absoluta. Diversas causas como inexatidões das máquinas, dos dispositivos ou dos instrumentos de medição fazem com que as dimensões reais (ou efetivas) das peças difiram daquelas indicadas no desenho, chamadas dimensões nominais. Peças reais possuem dimensões



que se afastam para mais ou para menos da cota nominal, apresentando uma certa inexatidão (NASCIMENTO, 2016).

## 2.7 FORÇA DE ATRITO

O coeficiente de atrito é uma grandeza adimensional (não possui unidade de medida) que indica se as superfícies oferecem muita ou pouca resistência ao movimento de objetos. O ato de empurrar um objeto pesado sobre uma superfície polida, por exemplo, é muito mais fácil que empurrá-lo sobre uma superfície rugosa e com falhas. Na superfície lisa, o coeficiente de atrito é menor que na superfície rugosa, indicando a maior facilidade de movimento do objeto (LOPES, 2008).

Sempre que um corpo está apoiado sobre uma superfície e uma força externa paralela ao chão atua sobre ele, surgirá uma força que se oporá à tentativa de movimento. Essa força é denominada força de atrito ( $F$ ). Um objeto em repouso sobre uma superfície só iniciará um movimento se uma força for aplicada sobre ele. Essa força possui um valor mínimo necessário que deve ser maior que o atrito existente entre o objeto e a superfície. Quando a força aplicada superar a força de atrito, o movimento será iniciado. Essa força de atrito existente quando o objeto está parado é denominada atrito estático (PEREIRA, 2013).

Caldas *et al.* (2000) defendem que no momento em que o objeto começa seu movimento, a força de atrito estático foi vencida. A partir desse momento, a força aplicada sobre o objeto terá a função de mantê-lo em movimento. Durante o movimento, a força de atrito continua a atuar sobre o objeto, mas com menor intensidade. Nesse caso, ela é denominada força de atrito dinâmico ou cinético.

O número que representa a maior ou menor dificuldade imposta pela superfície para um objeto em movimento é denominado de coeficiente de atrito dinâmico ou cinético. Geralmente, é representado pelo símbolo  $\mu_c$ .

**Tabela 2.2 - Exemplos de coeficientes de atrito estático e cinético.**

<b>Superfície em contato</b>	<b>Me</b>	<b>Mc</b>
Borracha sobre o concreto	1,0	0,8
Madeira sobre madeira	0,4	0,2
Articulações dos ossos humanos	0,01	0,003
Vidro sobre vidro	0,94	0,4

Fonte: AUTOR (2022).

A resistência ao desgaste não é verdadeiramente uma propriedade dos materiais e sim um comportamento complexo que depende do par de materiais em contato e de vários outros fatores (ZAPPE, 2020). As taxas de desgaste em um sistema de tribológico em que dois corpos sólidos deslizam um contra o outro dependem não só das propriedades dos materiais envolvidos, mas também da geometria do contato, da pressão de contato, da rugosidade da superfície, da velocidade de deslizamento, da temperatura e do meio ambiente, da presença e eficácia de qualquer lubrificante, e de outros detalhes.

$$F_{at} = \mu N \quad (2.4)$$

Onde:

$F_{at}$  é a força de atrito (com unidade de medida em Newton);

$\mu$  é o coeficiente de atrito (sem unidade de medida);

$N$  é a força normal (com unidade de medida em Newton).

Os coeficientes de atrito em polímeros deslizando contra eles mesmos, ou contra metais ou cerâmicas estão na faixa de 0,1 a 0,5; embora valores fora desta faixa podem ser observados. Nesses materiais, para os quais a Lei de Amonton não é amplamente aplicável,  $\mu$  varia tanto com a carga normal, velocidade de escorregamento, temperatura e umidade, que uma lista de coeficientes de atrito especificamente para estes materiais seria de pouco valor (PORR & SINATORA, 2009).

O atrito de polímeros, como nos metais, pode ser atribuído a duas fontes: um termo de deformação elástica, envolvendo dissipação de energia em um grande volume ao redor do local da área de contato, e um termo de adesão originado da *interface* entre o corpo deslizante e a respectiva *contraface* (BRAVIM & PEREIRA, 2007).

## 2.8 FERRAMENTAS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

O homem desde muito tempo sempre encontrará formas de replicar a capacidade humana de raciocinar. Tentando entender como a nossa capacidade cerebral funciona e desvendar uma maneira em que poderíamos torná-la mecanizada. Em algum tempo estaremos vivendo em uma quarta revolução industrial, termo esse já apontado por Schwab (2016). O autor afirma que muitos acreditam que essa imersão tecnológica, em que estamos hoje, ainda é

um aspecto da terceira revolução industrial, que é imersão na era computacional; mas também nos apresenta o porquê tem a convicção de que estamos diante de uma quarta revolução, conforme abaixo:

- Velocidade em que sua evolução ocorre, sendo de maneira exponencial;
- Amplitude e profundidade, pois a mudança acontece em diferentes áreas: econômicas, negociais, sociais e individuais; e
- Impacto sistêmico, em que vem transformando sistemas entre países e dentro de cada um deles, como também em empresas, indústrias e toda a sociedade.

O termo revolução significa uma mudança abrupta e radical, em que há uma transformação notória nos pilares sociais e sistemas econômicos (DOBRENKO, 2017).

A Inteligência artificial, também conhecida como IA, é um ramo da ciência que visa, por meios tecnológicos, sistêmico simular a inteligência humana; podendo resolver problemas, criar soluções e até mesmo tomar decisões no lugar do ser humano, como um auxílio que facilitaria em diversas áreas do cotidiano.

O termo inteligência artificial foi mencionado por Mccarthy (1956), em uma conferência sobre tecnologia no Dartmouth College, EUA. Mas, de acordo com FUX (2019), mestre em computação pela UFMG, o assunto já era anteriormente discutido por Alan Turing em 1950, considerado pai da computação.

Definir a inteligência artificial pode levar algum trabalho, pois existem quatro ramos desta ciência, apresentadas por Russel e Norvig (2013), usadas como caminho para estudo, em que acreditam que a Inteligência artificial são:

- Sistemas que pensam como seres humanos;
- Sistemas que atuam como seres humanos;
- Sistemas pensam de forma racional; e
- Sistemas que atuam racionalmente, mas que resumidamente são sistemas que podem pensar, raciocinar e até mesmo se comportar.

Uma grande utilidade da automação de sistemas está em aplicações estão associadas ao pensamento humano, como decisão, criação, resolução de problemas, aprendizagem, percepção e raciocínio. Classificar a tensão distorcida e as formas de onda de corrente nas ferramentas de IA de interesse para a comunidade de energia elétrica incluem Lógica Fuzzy (LF), Redes Neurais Artificiais (RNAs) e Algoritmo Genéticos (AGs).

### 2.8.1. Logica Fuzzy

Marro (2010) explica que a lógica difusa ou Lógica Fuzzy é a forma de lógica multivalorada, em que os valores verdade das variáveis podem ser qualquer número real entre 0 (correspondente ao valor falso) e 1 (correspondente ao valor verdadeiro), diferentemente do que se verifica na lógica booleana (também chamada, às vezes, lógica nítida), segundo a qual os valores lógicos podem ser apenas 0 ou 1.

A lógica difusa foi estendida para lidar com o conceito de verdade parcial, objetivando imitar o raciocínio humano em que o valor verdade situa-se entre o completamente verdadeiro e o completamente falso. Além disso, quando variáveis linguísticas são usadas, esses graus podem ser manipulados por funções específicas (PIMENTA, 2017).

O termo lógica difusa foi introduzido em 1965 com a proposta da teoria de conjuntos difusos. A lógica difusa tem sido aplicada em várias áreas, desde a teoria do controle à inteligência artificial. A lógica difusa tem sido, no entanto estudada desde meados da década de 1920, como lógica infinito-valorada, por Łukasiewicz e Tarski (ARAUJO, 2009).

Conforme Rodrigues e Alcântara (2011), as implementações da lógica difusa permitem que estados indeterminados possam ser tratados por dispositivos eletrônicos, aplicação bastante frequente em controle não-linear de processos industriais. Deste modo, é possível avaliar conceitos não quantificáveis. Casos práticos: avaliar a temperatura de uma caldeira (quente, morno, médio, etc.), o sentimento de felicidade (radiante, feliz, apático, triste, etc.), a veracidade de um argumento (corretíssimo, correto, contra-argumentativo, incoerente, falso, totalmente errôneo, etc.).

Muitos pesquisadores de versões booleanas de lógica não aceitam a lógica difusa como uma verdadeira lógica, no sentido em que aceitam, por exemplo, a lógica modal. Isso pode ser associado a diferentes fatos, entre eles o de que muitos modelos permitem soluções aproximadas, que não correspondem a uma "verdade" lógica (DE ABREU, 2011).

### 2.8.2 Rede Neural Artificial (RNA)

Segundo Willis (1991), uma rede neural artificial (RNA) tem duas facetas elementares: a arquitetura e o algoritmo de aprendizagem. Essa divisão surge naturalmente pelo paradigma como a rede é treinada. Ao contrário de um computador programado, a rede é treinada por exemplos de treino. O conhecimento sobre o problema em consideração está guardado dentro

dos exemplos que têm que estar obrigatoriamente disponíveis. O algoritmo de aprendizagem generaliza esses dados e memoriza o conhecimento nos parâmetros adaptáveis da rede, os pesos. Assim o construtor de um sistema baseado em RNA tem dois graus de liberdade, a definição sobre o tipo de rede para resolver o problema em consideração e o algoritmo para treinar a rede, por exemplo, para adaptar os pesos da rede.

A composição da rede é feita pelos neurônios. Normalmente o tipo de processamento de um único neurônio é a combinação linear das entradas com os pesos seguida pela passagem da combinação linear por uma função de ativação (WILLIS, 1991).

A natureza do problema a ser resolvido normalmente define restrições em relação aos tipos de redes e algoritmos de aprendizagem possíveis (RAUBER, 2005).

### **2.8.3 Algoritmo Genético**

Esse algoritmo é denominado genético, pois não define o modelo de previsão a ser utilizado. Dessa maneira, pode-se utilizar a modelagem mais conveniente para a série. É uma classe de procedimentos, com passos distintos bem definidos que se fundamenta em analogias a conceitos biológicos já testadas à exaustão. Cada passo distinto pode ter diversas versões diferentes (LEMOS, 2007).

Wang (2008) defende que Algoritmos Genéticos servem para busca e otimizar tendências. São amplamente utilizados em vários tipos de processos, com sucesso, em problemas de difícil manipulação pelas técnicas tradicionais. Busca melhor eficiência em função da flexibilidade.

As características gerais dos Algoritmos Genéticos podem ser enumeradas conforme os textos de Sivanandam e Deepa (2008):

- Utilizam uma codificação do conjunto de parâmetros (indivíduos) e não com os próprios parâmetros (estados);
- Vasculham várias regiões do espaço de busca de cada vez;
- Utilizam informações diretas de qualidade;
- em contraste com as derivadas utilizadas nos métodos tradicionais de otimização;
- Utilizam regras de transição probabilísticas e não regras determinísticas.

Yang (2020) resume o funcionamento fundamental dos Algoritmos Genéticos da seguinte forma:

1. Gerar população inicial;
2. Descartar uma parte dos Indivíduos menos aptos;
3. Aplicar operadores de reprodução;
4. Aplicar operadores de mutação;
5. Se o critério de parada foi satisfeito, encerrar. Senão, voltar ao passo 2.

Segundo Soares (2019), a seleção natural tem como princípio básico para o direcionamento da evolução de uma dada população a utilização de uma função de avaliação para medir a aptidão de cada indivíduo. Essa aptidão pode ser absoluta ou relativa, considerando que existem vários métodos de seleção. Os principais métodos de seleção natural são:

- Método da roleta;
- Método do Torneio;
- Método de amostragem universal estocástica.

Sivanandam e Deepa (2008) enumeram as principais aplicações dos Algoritmos Genéricos, os quais podem ser resumidos a seguir:

- Alocação de tarefas;
- Configuração de sistemas complexos;
- Seleção de rotas;
- Problemas de otimização e de aprendizagem de máquina;
- Problemas cuja solução seja um estado final e não um caminho;
- São especialmente interessantes em problemas difíceis de otimizar de forma convencional;
- Técnicas tradicionais são mais difíceis de empregar;
- Se uma técnica tradicional puder ser empregada, normalmente acha melhor solução mais rápido;
- Existem muitos problemas práticos aos quais técnicas determinísticas tradicionais não podem ser aplicadas;
- Técnicas tradicionais têm natureza serial;
- Algoritmos Genéticos têm natureza paralela.

#### 2.8.4 Enxame de formiga

Segundo Dorigo e Krzysztof (2006), o campo de pesquisa de inteligência coletiva (inteligência por enxame, *swarm intelligence*) atua sobre algoritmos baseados no comportamento de enxames e na sua coletividade. Ainda segundo esses autores, enxames são compostos por indivíduos (abelhas, formigas ou cupins, por exemplo) que realizam o trabalho interagindo entre si coordenadamente sem uma forma de controle centralizado.

*Ant System* (AS) é um algoritmo heurístico que utiliza colônia de formigas artificiais como ferramenta de otimização sendo proposto por Dorigo *et al.* (1991). No que lhe concerne, a *Ant Colony Optimization* (ACO) foi formalizada como sendo uma meta-heurística de otimização combinatorial, que, de acordo com Dorigo *et al.* (2006), e um conjunto de conceitos algorítmicos que podem ser aplicados a diversos problemas.

Devido as características presentes nas colônias de formigas artificiais, diversos trabalhos propõem o uso de algoritmos para a resolução de diferentes problemas, tais como os citados por Dorigo e Stuzle (2004): roteamento de veículos, atribuição de frequência, agendamento e coloração de grafos. Este último aparece em diversos problemas onde, de acordo com Bondy e Murty (2008), é necessário particionar um conjunto de elementos em vários grupos com determinadas características compatíveis entre os membros.

Silveira *et al.* (2009) descrevem que a otimização por enxame de partículas é uma abordagem de otimização estocástica, modelada com base no comportamento social de bando de pássaros. É um procedimento de busca baseado em população, onde os indivíduos, referidos como partículas, são agrupados em um enxame e cada partícula representa uma solução candidata ao problema de otimização. Neste tipo de otimização, cada partícula é lançada pelo espaço de busca multidimensional, ajustando sua posição de acordo com sua experiência e a das partículas vizinhas, recorrendo à melhor posição por ela encontrada e da melhor posição encontrada pelas vizinhas para se movimentar na direção da solução ótima.

O desempenho de cada partícula é medido de acordo com uma função de aptidão predefinida, que está relacionada ao problema a ser resolvido (OLIVEIRA *et al.*, 2004). Aplicações de desse sistema incluem:

- Aproximação de funções;
- Agrupamento;
- Otimização de estruturas mecânicas.

Estudos de colônias de formigas contribuíram para o desenvolvimento de algoritmos de otimização de caminhos mais curtos, a partir da modelagem do depósito de feromônio pelas

formigas na busca pelo caminho mais curto para fontes de comida (SERAPIÃO, 2009).

Finalmente Souza (2018), contribui afirmando que outras aplicações para otimização por colônias de formigas incluem:

- Otimização de roteamento em redes de telecomunicações;
- Coloração de grafos;
- Escalonamento.



# CAPÍTULO 3

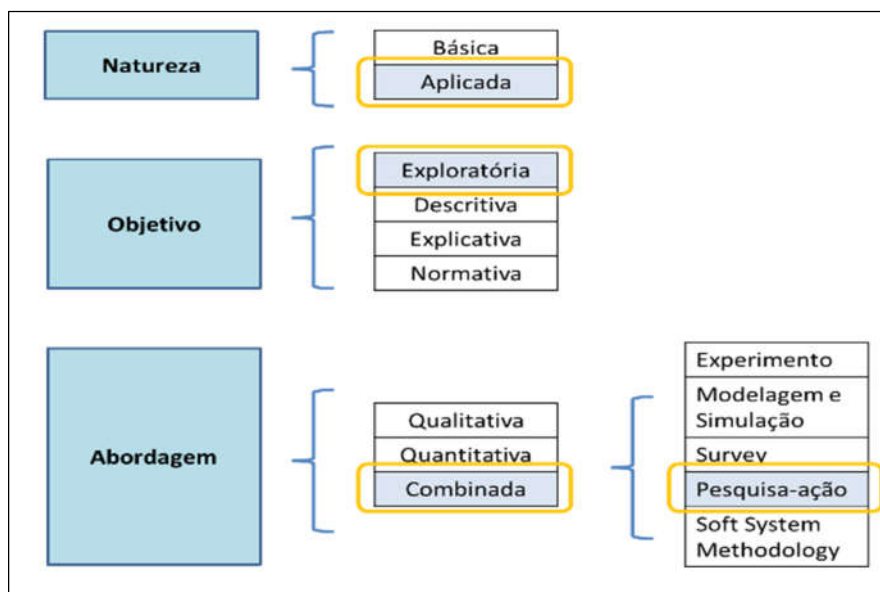
## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados os procedimentos metodológicos utilizados para alcançar os objetivos propostos. De modo geral, a investigação se deu de forma qualitativa e quantitativa, adotando um procedimento analítico através de observações e levantamento de dados.

### 3.1. METODOLOGIA DA PESQUISA

A metodologia adotada foi desenvolvida por meio de pesquisa-ação, o que significou no papel ativo na análise do problema e desenvolvimento de soluções dentro do ambiente de pesquisa (KOERICH, 2009).

Figura 3.1 - Tipos de metodologia.








Fonte: IVANKOVA, (2014).

### 3.2 MATERIAIS

Os materiais envolvidos incluem equipamentos e instrumentos de medição, além de

recursos tecnológicos para registro e processamento de informações. Todos os itens utilizados no estudo estão listados na Tabela 3.1.

**Tabela 3.1 - Lista de materiais utilizados nas medições.**

Item	Descrição	Foto
1	Paquímetro digital, marca Mitutoyo, resolução 0,01 mm, tamanho máximo 200 mm. Utilizado para tomar as medidas da chave de acionamento.	
2	Dinamômetro digital, utilizado para tomar as medidas de força do acionamento da chave e força de remoção do <i>joystick</i> da chave.	
3	Microscópio Digital, utilizado para tomar as medidas internas e externas do <i>joystick</i> .	
4	Software associado ao microscópio digital, ISM-PRO associado ao uso do microscópio digital.	
5	Microcomputador com Windows 10.	

Fonte: AUTOR (2022).

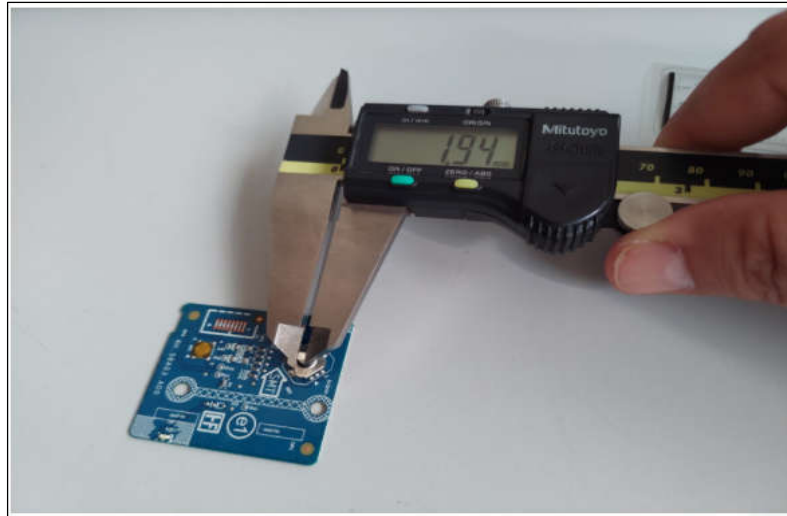
### 3.3 MÉTODOS

Os dados foram coletados tomando-se como base os dimensionais das peças. Nesta primeira etapa foram mensurados a largura da haste da chave de acionamento, como detalhado

a seguir.

1. Foram separadas 100 amostras de chaves montadas em placas de circuito impresso;
2. Mediu-se o dimensional da haste da chave de acionamento. Essa medida foi realizada por um paquímetro digital.

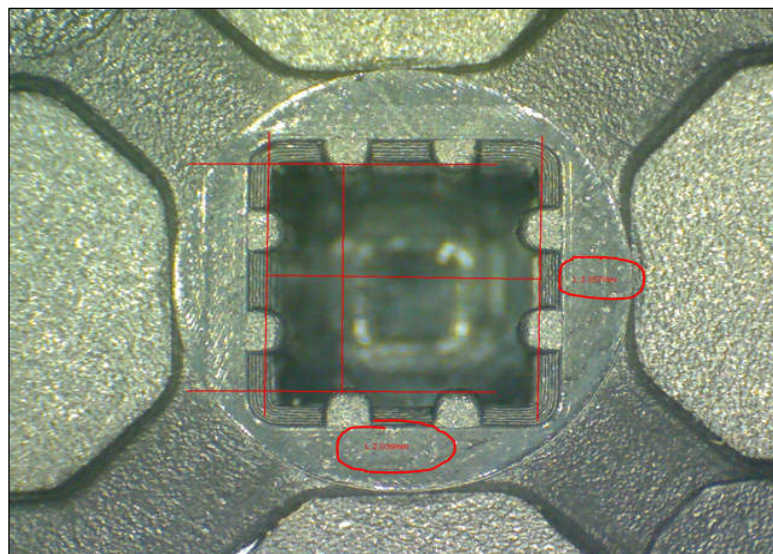
Figura 3.2 - Medida da haste da chave de acionamento.



Fonte: AUTOR (2022).

3. Mediu-se a abertura do *joystick*. Essa medida foi realizada através de um microscópio digital associado a um software analítico.

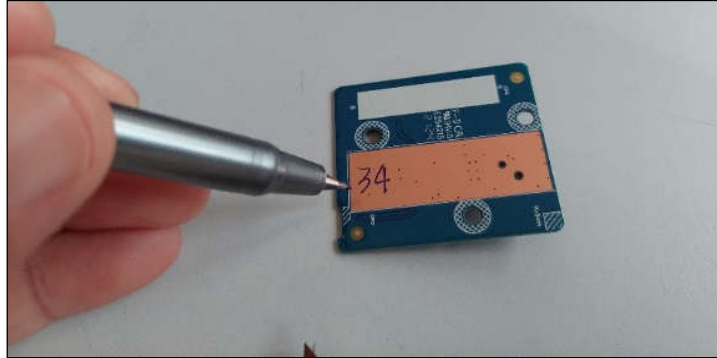
Figura 3.3 - Imagem da medição realizada pelo microscópio e programa.



Fonte: AUTOR (2022).

4. O conjunto chave-*joystick* recebeu uma numeração de controle.

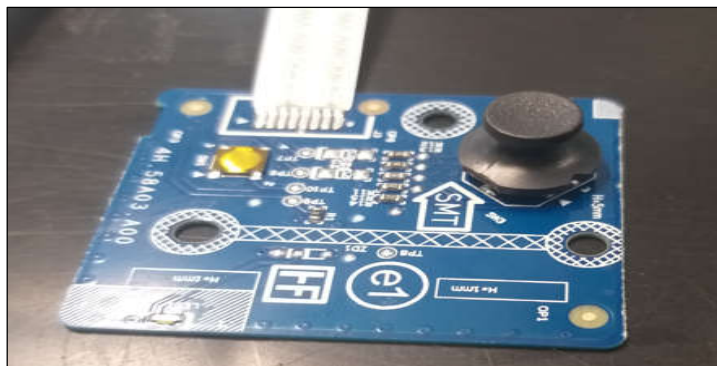
Figura 3.4 - Marcação de controle realizada em cada conjunto medido.



Fonte: AUTOR (2022).

5. Depois dessas etapas, foi feita a montagem do *joystick* na chave utilizando da nova proposta de montagem, com o ângulo de 45°.

Figura 3.5 - Botão *joystick* encaixado na placa de circuito impresso.



Fonte: AUTOR (2022).

6. Em seguida foi realizada a medição da força de remoção do *joystick* da chave.

Figura 3.6 - Medição da força de remoção do botão *joystick* da placa.

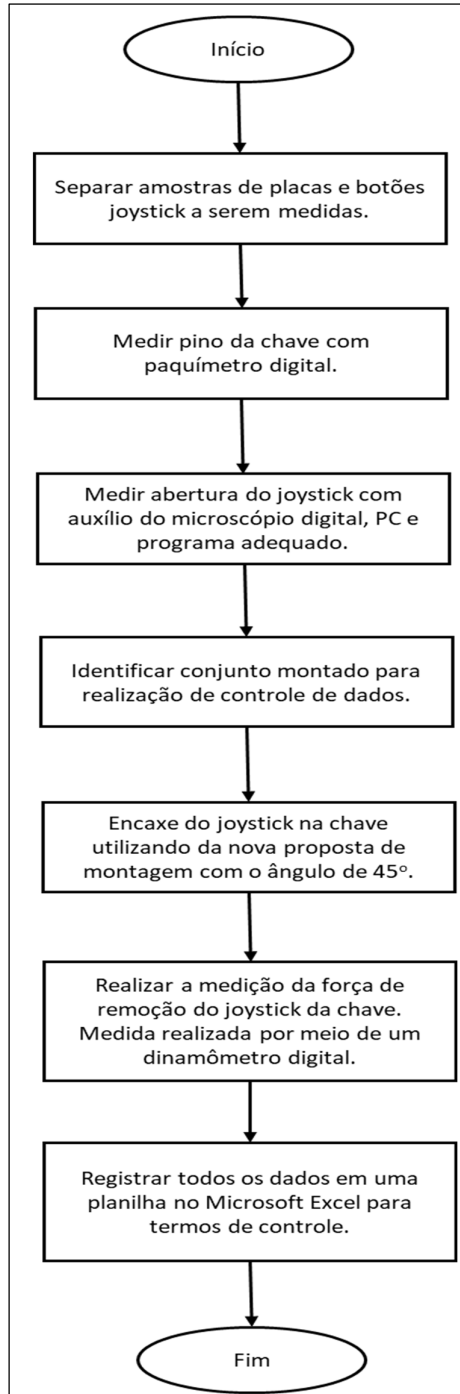


Fonte: AUTOR (2022).

7. Todos os dados foram registrados em uma planilha no Microsoft Excel para termos de controle.

### 3.4 FLUXOGRAMA DE PROCESSO:

Figura 3.7 - Fluxograma do processo de medição.



Fonte: AUTOR (2022).

Etapa 1 - Separar amostras de placas e botões *joystick* a serem medidas:

Nesta etapa foram solicitadas 100 amostras de circuito impresso montados com todos os componentes necessários ao seu funcionamento, incluindo a chave de acionamento do botão *key*. As peças tomadas como emprestadas da linha de produção após finalização da montagem de todos os componentes SMD (*Surface Mounted Device*) e enviadas ao Laboratório de Engenharia de Desenvolvimento para as devidas análises.

Etapa 2: Medir haste da chave com paquímetro digital.

Nesta fase iniciam-se as análises dimensionais dos componentes envolvidos. É realizado a verificação da medida da haste da chave de acionamento por um paquímetro digital. O valor nominal do referido componente é 1,9 com tolerância de cerca de 0,05 mm. Após checagem, os resultados são registrados em um planilha.

Etapa 3: Medir abertura do *joystick* com auxílio microscópio digital, PC e programa específico.

Na sequência, são realizadas medições no botão *joystick*, no local de abertura interna, onde é feito o encaixe da haste da chave. Dado ao tamanho reduzido dessa cavidade, essas medidas não podem ser realizadas com paquímetro, mas somente com microscópio digital. O mesmo precisa ser calibrado com uma escala de 1 mm antes da realização das medidas. O valor nominal da peça é 1,95 mm com tolerância de cerca de 0,05 mm.

Etapa 4: Identificar conjunto montado para realização de controle de dados.

Na fase seguinte, o conjunto formado pela haste da chave que foi medido e a placa de circuito impresso montada, é identificado para fins de controle. Essa identificação é importante para serem realizadas as demais medidas, gerar rastreabilidade e associar essas medidas a um padrão matemático determinado.

Etapa 5: Montagem do *joystick* na chave utilizando da nova proposta de montagem com o ângulo de 45°.

Após estas medidas preliminares é executado o experimento ao qual este trabalho visa estudar. O *joystick* é montado na haste da chave numa condição nova, que objetiva resolver o problema ao qual este estudo de caso foi proposto. A peça é movida em torno de seu próprio eixo num ângulo de 45° e então montada no *joystick*. A pressão exercida para montagem da peça é em torno de 1 kg.F até que toda a haste da chave chegue ao final do *joystick*. Essa montagem deve ser feita sem a utilização de cola.

Etapa 6: Realizar a medição da força de remoção do *joystick* da chave. Medida realizada por meio de um dinamômetro digital.

Após montada, é realizada a medição da força necessária para remoção das peças. Esse processo é feito por um gancho que é conectado ao *joystick* e este montado na chave da placa de circuito impresso montado da *key*. O gancho é preso à chave com uma presilha. Depois tenta-se separar o *joystick* da chave. A peça é puxada até separar-se do conjunto chave-placa montada. Quando ocorre o desmembramento, o dinamômetro registra a força máxima exercida para retirar o *joystick* do conjunto chave-placa de circuito impresso. O registro do experimento é registrado na planilha onde já estão registrados os resultados dos experimentos 2 e 3. A unidade de medida utilizada foi Kg.F.

Etapa 7: Registrar todos os dados em uma planilha no Microsoft Excel para termos de controle.

As medidas efetuadas nas etapas 2 (haste da chave), 3 (cavidade do *joystick*) e 6 (força de remoção) foram registradas numa planilha Excel, mantendo-se a relação e rastreabilidade entre as medidas. Todas essas medições foram realizadas para cada uma das 100 amostras estudadas.

As 100 peças representam um universo de 10 % do que é produzido numa ordem de produção média.

Cada peça consumiu cerca de 4 minutos entre medições e registros, totalizando cerca de 7 horas de estudos na avaliação de cada uma das 100 peças.

# CAPÍTULO 4

---

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA INDÚSTRIA

O presente estudo ocorre numa empresa multinacional estrangeira produtora de produtos eletrônicos – considerada uma das maiores produtoras de monitores e televisores do mundo. Fundada na década de 90, a filial brasileira está sediada no município de Manaus-AM desde outubro de 2003.

A empresa tem como missão a produção de monitores e televisores de LCD e LED, de várias marcas, com a mais alta tecnologia, provendo produtos de qualidade e um amplo serviço de atendimento, visando sempre a satisfação do cliente, com preços competitivos e a procura contínua pela excelência na evolução tecnológica, com a aplicação de uma Política de Sistema de Gestão Integrada definida e comunicada a todos os níveis da organização.

Desde o início de suas operações no Polo Industrial industriais de Manaus e construída em modernas instalações, a empresa vem contribuindo com o desenvolvimento da região, que iniciou com 150 empregos e uma capacidade de produção, parcial, de aproximadamente 25.000 produtos/mês. Atualmente, a filial possui mais de mil funcionários sendo considerada uma das maiores produtoras de monitores e televisores no Brasil, chegando a produzir aproximadamente 250.000 produtos/mês.

A organização onde foi realizado o estudo é categorizada como empresa de grande porte. Ela busca o desenvolvimento e melhoria de seus processos a partir da utilização de ferramentas de melhoria contínua, visando tornar seus produtos os mais competitivos do mercado. Sua produção é caracterizada como processo intermitente, visto que o seu volume é determinado a partir da procura ou lotes encomendados por grandes clientes, que são estabelecimentos comerciais, empresariais ou estatais.

O departamento de RD (*Research and Development*) representado pela equipe de NPI (*New Product Introduction*) também contribui nas análises durante a fase de linha piloto. O foco do estudo encontra-se na fase de introdução de novos modelos e início da produção em massa, que são desenvolvidos pelas gerências de pesquisa e desenvolvimento, com suporte com as demais engenharias.



## 4.2 PROCESSO DE NOVOS PRODUTOS

O processo de desenvolvimento de novos produtos é uma tarefa ampla, envolvendo todas as atividades da organização. A existência de um plano de *New Model Introduction* (NPI) é o que fundamenta o bom lançamento de um produto, trazendo presentes elementos de mercado que são indispensáveis para o sucesso da organização.

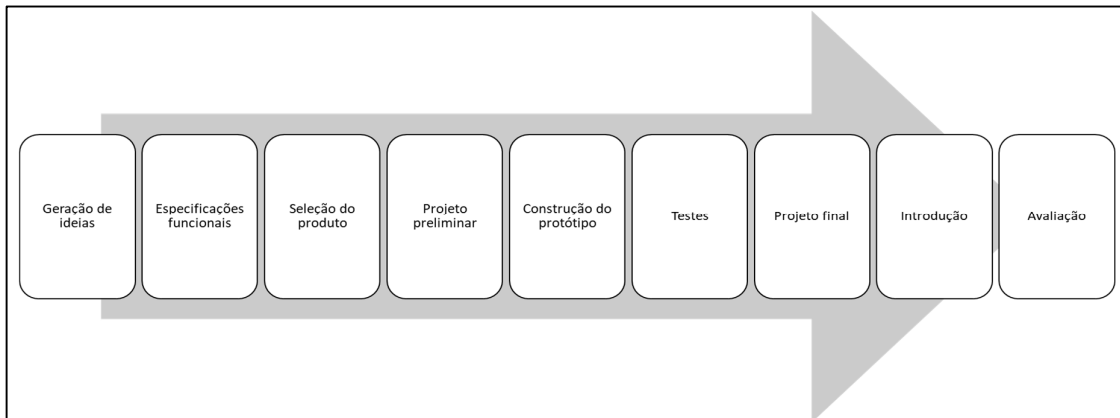
Depois da pesquisa de mercado e determinação das especificações do novo produto, a gerência de vendas em conjunto com a gerência geral, informam à matriz estrangeira quais produtos são mais vantajosos de serem fabricados. Na etapa seguinte é verificado qual produto possui maior potencial de lucratividade e melhor possibilidade de produção em larga escala. A matriz estrangeira e a gerência de vendas no Brasil então decidem quais produtos serão lançados. Na próxima fase é realizada a engenharia de integração e teste no centro de pesquisa da empresa em Taiwan.

Depois é feito o desenvolvimento do produto e prototipagem com a utilização de *softwares* de simulações. Na empresa, esta fase é chamada tecnicamente de DVT (Desenvolvimento de Teste de Verificação). Em seguida, o produto desenvolvido passa pelas etapas de teste para encerrar o ciclo do projeto. Nessa etapa a matriz encerra o projeto final do produto, baseado nas especificações, *design*, custo de produção e probabilidade de aceitação deste produto no mercado. Dado que estes parâmetros estão totalmente definidos, passa-se para a transferência desse projeto para a filial brasileira, que prosseguirá à fase de Desenvolvimento de Novos Produtos (*New Product Introduction* – NPI).

O produto, quando fabricado pela primeira vez na linha de produção, é produzido em pequenos lotes – 30 a 50 peças, podendo chegar a 550 peças – dependendo do cliente. Essa quantidade é previamente definida pela matriz e alinhada com as áreas envolvidas. Esta é a fase de linha piloto, em que este estudo é realizado.

O processo de novos produtos na empresa segue o fluxo descrito por Martins (1999), sendo constituído por nove etapas, conforme Figura 4.1:

Figura 4.1 - Etapas da Introdução de um novo produto.



Fonte: AUTOR (2022).

O processo de desenvolvimento de novos produtos é uma tarefa ampla, envolvendo todas as áreas da organização. A existência de um plano de NPI (*New Product Introduction*) é o que fundamenta o bom lançamento de um produto, trazendo presentes elementos de mercado indispensáveis para o sucesso da organização.

#### 4.2.1 Fase 1: Geração de Ideias

A empresa obtém informações através de estudos de mercado, da identificação de problemas em produtos já existentes da própria empresa e dos competidores, além da obtenção de dicas valiosas por usuários com altas exigências cujas necessidades precedem àquelas de outros clientes, bem como da análise de patentes, de incentivos dos próprios funcionários para a geração de novas ideias, da contratação de consultores, dentre outros.

#### 4.2.2 Fase 2: Especificações funcionais

A determinação das especificações funcionais dos produtos na empresa segue as diretrizes orientadas por Gwin e Gwin (2003), que descreve que quatro aspectos devem ser considerados nesse processo:

- O mercado alvo;
- Como o produto é diferente ou melhor que os competidores;
- O valor desta diferença para o mercado, ou seja, o mercado deve perceber e adicionar valor para o cliente;

- A habilidade para demonstrar ou comunicar esta diferença para o mercado.

Depois da pesquisa de mercado e determinação das especificações do novo produto, a Gerência de Vendas, com a Gerência Geral, informam à matriz estrangeira (Grupo TPV) quais produtos são mais vantajosos de serem fabricados.

#### **4.2.3 Fase 3: Seleção do produto**

Nesta etapa é verificado qual produto possui maior potencial de lucratividade e melhor possibilidade de produção em larga escala. A matriz estrangeira e a gerência de vendas no Brasil então decidem quais produtos serão lançados.

#### **4.2.4 Fase 4: Projeto preliminar**

Esta é a fase onde é realizada a chamada EIT (Engenharia de Integração e Teste) que ocorre no centro de pesquisa da empresa localizada em Taiwan. Nesta etapa, são realizadas as seguintes atividades.

- Reunião de planejamento de lançamento do projeto;
- Definição das funções de *software*;
- *Design* da Placa de Circuito Impresso (PCI);
- Construção da BOM (*Bill Of Material*);
- Fabricação da PCI;
- Montagem dos componentes na PCI ;
- Revisão do *software*;
- Depuração da PCI;
- Verificação dos resultados da fase de EIT, com ação de correção.

#### **4.2.5 Fase 5: Construção do protótipo**

Na etapa do desenvolvimento do produto propriamente dita, uma das principais preocupações da empresa é desenvolver um novo produto de alta qualidade e de maneira mais rápida do que os competidores, além de ficar no orçamento (Wheelwright & Clark, 1994). Isso

ocorre diminuindo o tempo necessário para concluir o ciclo de *design* – prototipagem – teste e reduzir as repetições (interações) necessárias desse ciclo para chegar a uma solução definitiva para o novo produto. Para tanto, serve um conjunto de técnicas, tais como a prototipagem rápida (usando software para simulações), a manutenção de uma base de conhecimento com componentes e soluções parciais que poderão ser utilizadas em diferentes projetos e a sobreposição ou realização simultânea de várias etapas do processo. Na empresa, esta fase é chamada tecnicamente de DVT (Desenvolvimento de Teste de Verificação). Ela ocorre geralmente na matriz estrangeira, e envolve as seguintes atividades:

- *Design* esquemático;
- Modificação esquemática;
- *Layout* preliminar da PCI;
- Verificação do *layout* por engenheiros;
- Modificação do *layout* e comentários;
- Definição da BOM inicial;
- Nova fabricação da PCI;
- Nova montagem da PCI;
- Nova versão do software;
- Abertura e depuração da PCI;
- Integração *Software e Hardware*;
- Teste de tortura de 15 dias;
- Liberação da Versão *Alpha* do *software*.
- Verificação do DVT e ação de correção;

#### **4.2.6 Fase 6: Testes**

Após as fases anteriores, o produto desenvolvido passa pelas etapas de teste para encerrar o ciclo do projeto. Essa etapa inclui as seguintes atividades:

- Teste de isolamento de segurança com aplicação de alta voltagem em partes metálicas expostas do produto;
- Teste de áudio eletrônico;
- Teste de ruído acústico;

- Teste conflito de controle remoto;
- Teste de consumo de energia;
- Teste de software e OSD (*On Screen Display*);
- Teste de *stress*;
- Teste de imagem;
- Teste de conexão *TV-LAN* Teste;
- Teste de Compatibilidade;
- Teste de Brilho;
- Teste de pureza & *White Balance* (balaço de branco);
- Inspeção mecânica do produto;
- Inspeção do layout do produto;
- Teste de montagem em parede (*Wall Test*);
- Teste da caixa e calço;
- Teste de liga e desliga (*AC-socket*);
- Teste de pintura;
- Teste de Impressão;
- Segurança.

#### **4.2.7 Fase 7: Projeto Final**

Nessa etapa a matriz estrangeira encerra o projeto final do produto, baseado nas especificações, *design*, custo de produção e probabilidade de aceitação deste produto no mercado. Visto que estes parâmetros estão totalmente definidos, passa-se para a transferência desse projeto para a filial brasileira, que prosseguirá à fase de introdução.

#### **4.2.8 Fase 8: Introdução**

A fase de introdução ocorre totalmente no Brasil. Essa etapa envolve as seguintes atividades:

- Recebimento e estudo das especificações do produto;
- Solicitação do material para desenvolvimento;
- Recebimento de materiais, como placas, equipamentos de teste e amostras;

- Aplicação de melhorias, modificações e aperfeiçoamentos;
- Piloto de placas e produtos, testes e aprovações;
- Melhorias contínuas de processo em geral;
- Avaliação do comportamento funcional do produto em campo;
- Análise e aplicação de melhorias no produto/processo.

O produto, quando fabricado pela primeira vez na linha de produção, é produzido em pequenos lotes – 30 a 50 peças, podendo chegar a 550 peças – dependendo do cliente. Essa quantidade é previamente definida pela matriz e alinhada com os departamentos de Planejamento e Controle de Produção (PCP) e PD1 (Pesquisa e Desenvolvimento 1). Nessa etapa, duas coisas são avaliadas:

- A capacidade do processo de produzir com qualidade e produtividade, conforme plano especificado pelos Departamentos de Planejamento e Engenharia;
- O comportamento do processo (operadores e máquinas) quando em contato com o produto pela primeira vez.

#### **4.2.9 Fase 9: Avaliação**

Esta fase de teste pode durar de 15 a 21 dias. Durante este período, uma quantidade de produtos é separada pelo departamento de qualidade e enviada para testes especiais, tais como vibração, queda, climático, confiabilidade e meio ambiente. Depois disso, são realizadas duas reuniões:

- A Reunião de revisão das ações corretivas (*Review Meeting*) para verificar a eficácia das ações destinadas a resolver os problemas encontrados durante linha piloto e;
- Reunião de fechamento (*Close Meeting*) para aprovação final e liberação do produto para a Produção em Massa (*Mass Production, MP*).

Depois da reunião de fechamento, o produto, sob monitoramento da equipa de NPI, é finalmente lançado no mercado. Entretanto, desde sua primeira produção em Massa (MP1) até o momento em que o mesmo sai de linha (*End Of Life – EOL*), a equipe de RD1 acompanha o desempenho do produto, dando o devido suporte quando problemas diversos, especialmente de *design*, surgem no processo.

Todo este processo visa a detecção de dificuldades, aplicações de melhorias, adequações, alterações das atividades de produção para que durante a produção em massa as necessidades de alterações do produto sejam mínimas.

### 4.3 PROBLEMA ENCONTRADO

O referido estudo de caso busca analisar e aplicar soluções para problemas de *design* encontrados durante fase de linha piloto (fase 8) de um produto monitor de LCD em processo de produção OEM (*Original Equipment Manufacturer*) para uma renomada empresa da área de produtos de informática.

Em agosto de 2021 foi realizado a linha piloto de um novo modelo monitor de computador de 24 polegadas. Dentre outros recursos tecnológicos, o referido produto teve como novidade a utilização de botão de *joystick* onde são normalmente utilizados chaves de acionamento por pressão.

Neste *design*, o modelo teria que utilizar adesivo instantâneo para manter o *joystick* montado no conjunto chave-PCB (*Printed Circuit Board*). No entanto, o adesivo escorria para o corpo da chave, conseqüentemente, causando falhas de acionamento. O índice de defeitos chegava a 20,7%. Para melhor entendimento do problema, o processo de montagem é detalhado a seguir.

### 4.4 FASES DE MONTAGEM DO BOTÃO JOYSTICK

#### 4.4.1 Posicionamento do *joystick* no fixador

A chave é encaixada no gabarito de posicionamento (ou fixador), para manter o padrão de encaixe e inserção de adesivo.

O *fixture* foi confeccionado através de manufatura aditiva, ou impressora 3D, produzido em ótimas condições e alta fidelidade com o desenho original.

#### 4.4.2 Adesivagem

Nesta etapa é colocado o adesivo no interior do *joystick*. A quantidade especificada pela matriz é de 0,06 a 0,065 gramas.

Figura 4.2 - Processo de adesivagem com cola *Letbond* 4461.



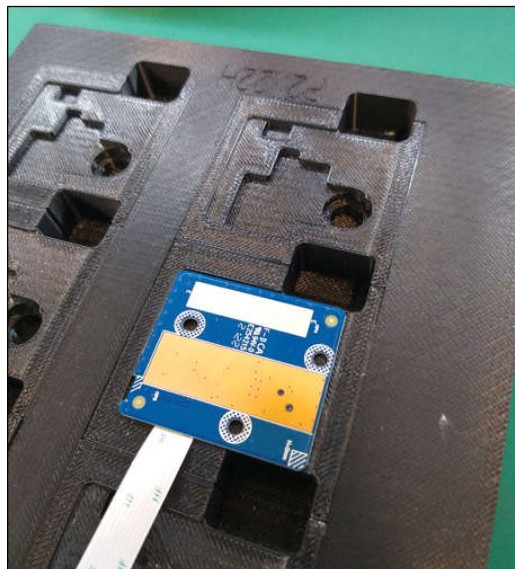
Fonte: AUTOR (2022).

O adesivo utilizado é o modelo *Letbond* 4461 do fabricante *Loctai* (<https://www.loctai.com.tw>). Esta cola é feita de cianoacrilato de baixa viscosidade que supera a maioria dos produtos em velocidade de cura (1 a 5 segundos). O mesmo se adequa à vários tipos de plásticos e pode colar materiais diversos como PVC, PC, EVA, PET e borracha. Sua resistência à tração pode chegar a 302 kgf/cm<sup>2</sup>.

#### 4.4.3 Montagem da chave de acionamento

Na sequência o botão *joystick* é montado na chave de acionamento. O mesmo está encaixado no gabarito fixador com o *joystick* que contem adesivo.

Figura 4.3 - Montagem da chave de acionamento.

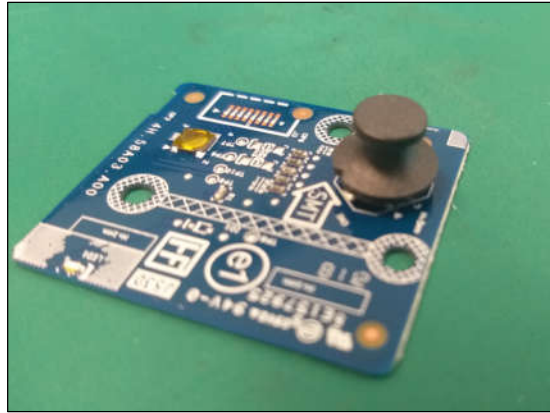


Fonte: AUTOR (2022).



Depois do tempo de 10 segundos, o conjunto *joystick*-PCBA é removido do gabarito fixador e posicionado sobre a bancada.

Figura 4.4 - Conjunto *joystick*-PCBA montado.

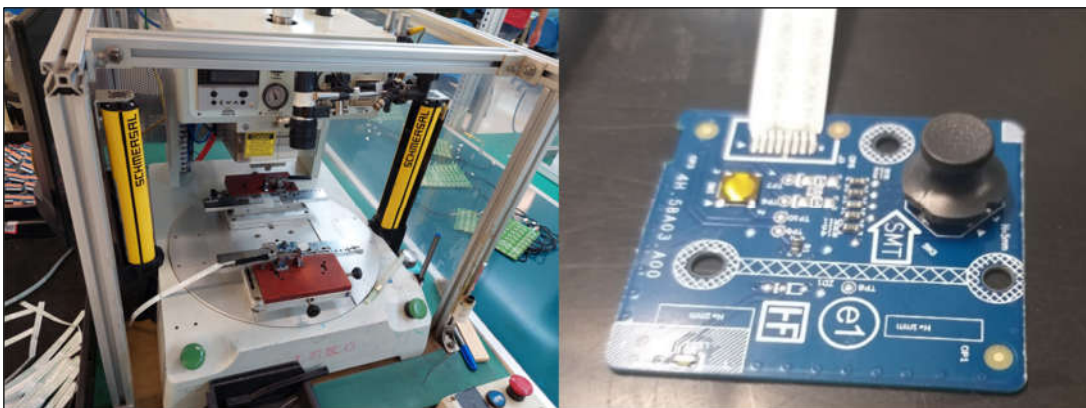


Fonte: AUTOR (2022).

#### 4.4.4 Soldagem do cabo flexível

Na sequencia é feito a soldagem do cabo flexível em equipamento de soldagem automática (*Lekko*).

Figura 4.5 - Soldagem do cabo flexível.



Fonte: AUTOR (2022).

#### 4.4.5 Teste

Nesta etapa o conjunto montado é conectado ao dispositivo de testes elétrico, onde são detectados problemas de não funcionamento, acionamento direto, parcial ou falhas mecânicas, como acionamento rígido ou anormal (sem clique ou clique pesado).

Figura 4.6 - Testagem do conjunto *joystick*-PCBA-cabo montado.



Fonte: AUTOR (2022).

#### 4.4.6 Reparo

Quando detectado defeitos de qualquer natureza nestes conjuntos, as peças são registradas no controle de defeitos e levadas ao posto de reparo técnico para tratativa de conserto.

Nesta etapa, normalmente o técnico tenta reciclar as peças por meio de uma simples limpeza ou ressolda. Não havendo formas de reutilização, a mesma é removida através de um soprador térmico e em seguida é feita a sua substituição.

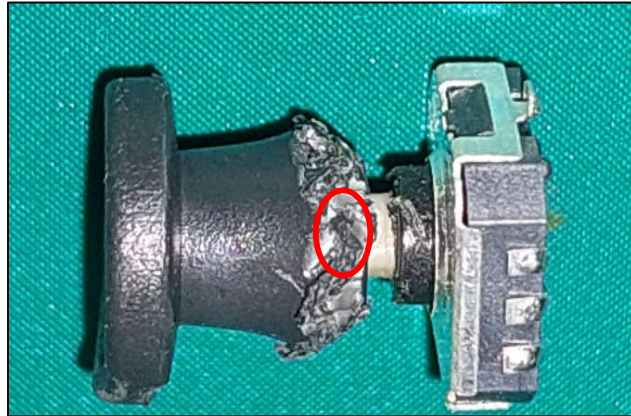
Figura 4.7 - Substituição do conjunto chave-*joystick*.



Fonte: AUTOR (2022).

Numa análise mais detalhada, é necessário destruir a peça para verificar exatamente onde está localizada a causa raiz. Na Figura 4.8, é possível verificar que houve migração do adesivo do botão *joystick* para o interior da chave de acionamento.

Figura 4.8 - Migração do adesivo do botão *joystick* para a chave de acionamento.



Fonte: AUTOR (2022).

## 4.5 IMPACTO DOS PROBLEMAS ENCONTRADOS

### 4.5.1 Baixa produtividade

O referido problema trouxe perdas de produtividade para o processo. O UPH (Unidade Produzidas por Hora) que normalmente é de 540 peças, sofreu impacto de 20%, reduzindo para 432 peças por hora.

### 4.5.2 Alto índice de defeitos

Na primeira produção em massa deste produto, cuja ordem foi 954 peças, houve rejeição de 198 peças, o que resultou em 20,7% de rejeição por peças defeituosas.

### 4.5.3 Alto custo de produção

Nesta situação, alguns custos são atrelados ao produto, como:

- Custo de material oriundo da substituição das peças danificadas (*Joystick*, chave de acionamento, solda, adesivo);
- Custo de conserto representado por recursos gastos em tempo, análise e manutenção das peças pelo técnico de reparo;
- Custo de mão-de-obra direta adicional com mais um operador para auxiliar na inserção de cola e compensar a perda de produtividade;
- Custos operacionais indiretos por tempo em reuniões com áreas envolvidas no processo

decisório: gerentes, supervisores, analistas e engenheiros, além de envolver suporte estrangeiro.

Figura 4.9 - Defeitos do botão *joystick*.



Fonte: AUTOR (2022).

#### 4.6 IMPLANTAÇÃO DA MELHORIA NO PROCESSO PRODUTIVO

Como tentativa de solução do problema, algumas ações foram testadas, como mudanças na forma de inserção do adesivo, os quais estão registradas a seguir:

##### 4.6.1 Redução da ponta do dosador

A inserção de adesivo diretamente do recipiente causava despejo excessivo do adesivo sobre o *joystick*. Para solução desse problema foi encaixado a ponta de uma seringa na ponta do dosador de adesivo.

Figura 4.10 - 1 Redução da ponta do dosador.

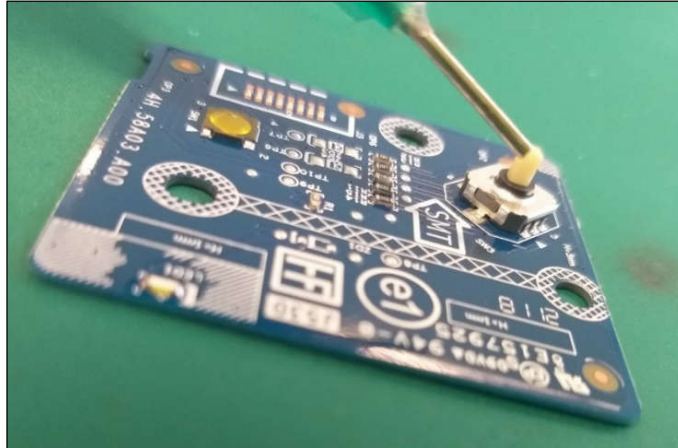


Fonte: AUTOR (2022).

#### 4.6.2 Inserção de cola diretamente na chave de acionamento

Outra forma de reduzir o índice de rejeição foi a aplicação de adesivo diretamente na haste da chave de acionamento. O resultado foi na melhoria da taxa de defeitos, que baixou de 20,7% para 10%.

Figura 4.11 - Inserção de cola diretamente na chave de acionamento.



Fonte: AUTOR (2022).

#### 4.6.3 Uso de papel no processo de dosagem

Outra alternativa para reduzir a quantidade do uso do adesivo foi por meio da utilização de um papel onde era depositado uma certa quantidade de cola. Em seguida, passava-se a chave no papel de maneira que uma quantidade pequena de adesivo era repassada para chave. Essa ação ajudou a reduzir o índice de falhas para 5%, mas apresentou outros efeitos colaterais, como botão *joystick* solto.

Figura 4.12 - Inserção de cola com uso de papel na dosagem.

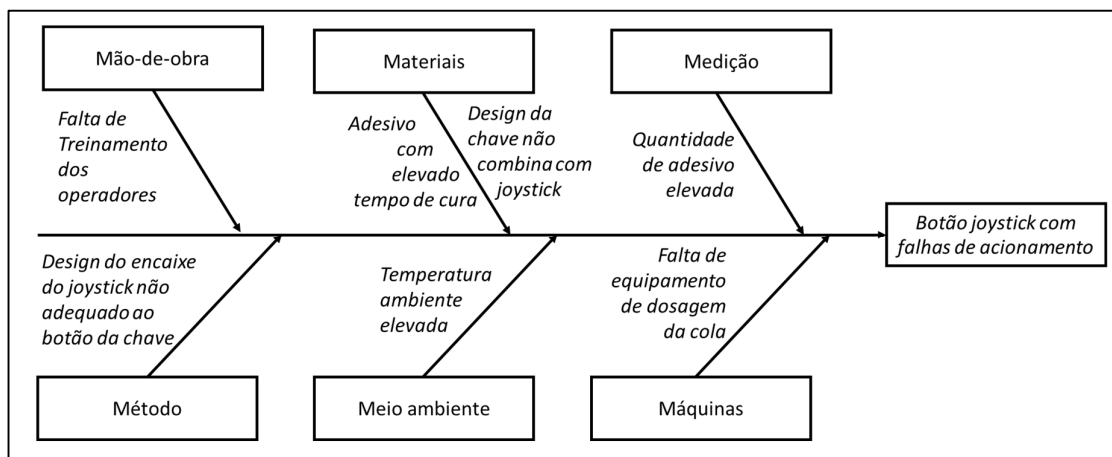


Fonte: AUTOR (2022).

## 4.7 IMPLANTAÇÃO DA MELHORIA NO DESIGN DO PRODUTO

Após compreender melhor os fatores que cercam o problema, foi elaborado um diagrama de Ishikawa, mostrando as prováveis causas.

Figura 4.13 - Diagrama de Ishikawa mostrando as prováveis causas.



Fonte: AUTOR (2022).

Ao analisar a Figura 4.13 pode-se concluir que as principais causas do problema estão relacionadas ao problema de *design*: “*design* do encaixe do joystick não adequado ao botão da chave” e “*design* da chave não combina com joystick”, descritos nos ramos método e materiais, respectivamente.

Portanto, havendo a necessidade de se efetuar mudanças no *design* do produto, foi elaborado um pequeno brainstorming com as equipes técnicas, dessa forma algumas soluções foram propostas:

1 - Mudanças no molde do joystick para se adequar mais precisamente à haste da chave na placa de circuito impresso. Esta ação também demandaria um alto valor investido. Por isso mesmo, não foi aceita pela matriz.

2 - Desenvolver um novo botão joystick com *design* totalmente novo. Essa solução demandaria o desenvolvimento de um novo molde. Custo aproximado USD 5.000.

3 - Utilização de outro adesivo com menor viscosidade. Para essa solução não havia referências de algum produto similar na ocasião;

4 - Utilizar botão joystick de outro modelo. A princípio, uma proposta bem aceita, porém, a altura desse joystick não se adequa ao *design* do produto, conforme Figura 4.14.

Figura 4.14 - Comparação de altura do *joystick* original e alternativo.



Fonte: AUTOR (2022).

5 - Aquisição de um equipamento dosador utilizado na matriz estrangeira. Essa ação demandaria um investimento no valor de USD 800.

Figura 4.15 - Equipamento dosador.



Fonte: AUTOR (2022).

Chegou-se a cogitar, inclusive, em abortar o projeto, ou seja, na possibilidade em não mais produzir mais este produto, no entanto, dado o alto grau de comprometimento da empresa com o cliente essa opção não foi levada adiante.

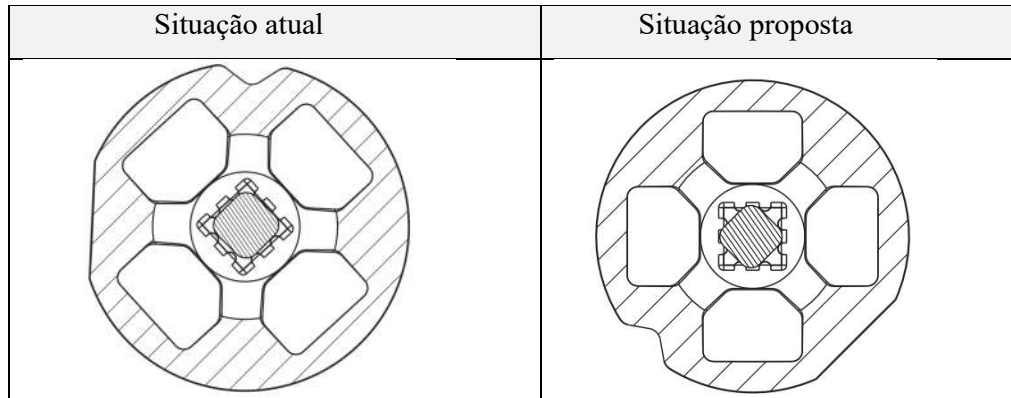
## 4.8 CICLO PDCA

### 4.8.1 Planejamento (*Plan*)

Através de tentativas e testes diversos, as soluções propostas na sessão anterior não foram levadas adiante, pelo menos naquele momento. Ao invés disso, foi definida que seria feita a implementação de uma solução mais simples e potencialmente eficaz: testar uma nova

forma de montagem, onde o *joystick* seria rotacionado em 45° em relação à haste do botão da chave de acionamento, de forma que a haste da chave de contato expandiria-se na cavidade interna do botão *joystick*, conforme Figura 4.16.

Figura 4.16 - Forma atual e proposta de montagem do botão *joystick*.



Fonte: AUTOR (2022).

Esta solução teria algumas vantagens:

- Não demandaria a inclusão de adesivo instantâneo no processo de montagem;
- Não envolveria grandes investimentos em equipamentos ou moldes;
- Não agregaria custos ao processo e nem ao produto;
- Eliminaría a estação de inserção do adesivo;

Apesar das vantagens listadas anteriormente, esta alteração deveria ser submetida à testes de resistência, funcionalidade e confiabilidade para que, enfim, obtivesse as aprovações gerenciais.

#### 4.8.2 Execução (Do)

A princípio, a solução foi implementada controladamente seguindo os procedimentos a seguir:

- 1 – Foi realizada a separação de 100 peças de amostras de placas e botões *joystick* separados.
- 2 – Foi medido a largura da haste da chave montada na PCBA (*Printed Circuit Board Assembly*) por meio de paquímetro digital.
- 3 – Depois foi tomada a medida da abertura do *joystick* com auxílio microscópio digital,



associado a um PC e programa aplicativo.

4 - Após isso, foram identificados os conjuntos montados, de maneira a se realizar o controle de dados de forma sequenciada;

5 - Na sequência, foi realizado a montagem do *joystick* na chave utilizando da nova proposta de montagem com o ângulo de 45°.

6 - Em seguida, foi mensurada a força de remoção do *joystick* da chave. Essa medida realizada através de um dinamômetro digital.

7 - Por último, como forma de controle, foi registrado todos os dados em uma planilha no *Microsoft Excel*.

As 100 peças representam um universo de 10 % do que é produzido numa ordem de produção média.

#### **4.8.3 Verificação (*Check*)**

Após a implementação do novo processo de montagem do *joystick* na chave com o ângulo de 45°, foram realizados testes de acionamento, força de encaixe e remoção, vibração e queda, além de *benchmarking* com outros produtos similares.

#### **4.8.4 Ação (*Action*)**

Depois executadas as fases de planejamento, montagem e testes, os dados foram avaliados e usados no processo decisório de tomada de ações corretivas e preventivas.

### **4.10 RESISTÊNCIA E COMPOSIÇÃO DO MATERIAL**

O material plástico que compõe o botão *joystick* é o ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*) ou Acrilonitrila Butadieno Estireno, sendo uma resina termoplástica derivada do petróleo.

O ABS é muito usado na indústria por ser economicamente viável (preço relativamente baixo), leve e fácil de moldar. Detém propriedades específicas como boa resistência a impacto, tração e abrasão (desgaste por fricção; raspagem).

Quando comparado a outros materiais o plástico ABS apresenta certa resistência ao calor e às baixas temperaturas, podendo ser utilizado normalmente em temperaturas que variam de -20° C a 80° C. Além disso, também funciona como um isolante elétrico.

A moldação do plástico ABS pode ser processada por injeção ou extrusão, garantindo uma conexão entre as camadas consistentes e mínima deformação.

A haste da chave de acionamento é composta de poliamida alifática de alto desempenho com uma temperatura de fusão de 295° C e que, devido à sua alta cristalização e velocidades de cristalização rápidas, possui excelente desempenho mecânico de alta temperatura e ótimas propriedades de desgaste e atrito.

## 4.11 RESULTADOS OBTIDOS

### 4.11.1 Teste de desencaixe

Considerando que no produto, o conjunto montado é enclausurado pelo gabinete, é possível verificar que desencaixe total do botão *joystick* fica impedido pela própria estrutura.

Figura 4.17 - Conjunto montado no gabinete do produto.



Fonte: AUTOR (2022).

Em uma situação hipotética, como, por exemplo, um cliente puxando o *joystick* até a mesma sair do encaixe da chave de acionamento, seria necessária uma força mínima de 0,6KgF. Ainda sim, não é possível separar o botão do produto.

Figura 4.18 - Simulação de remoção do *joystick* no gabinete montado.



Fonte: AUTOR (2022).

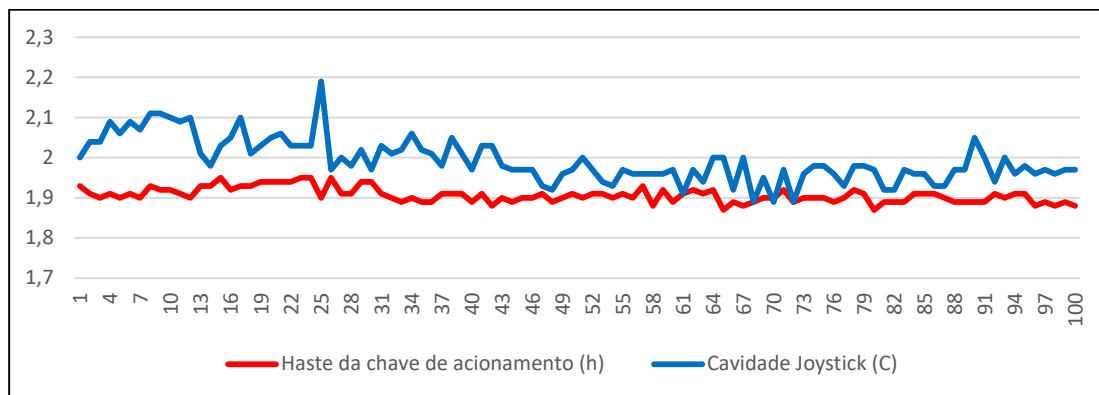
Com o intuito de verificar uma relação entre as medidas da haste da chave, medidas das cavidades e força de remoção do *joystick*, foram realizadas medidas em 100 peças, utilizando-se de instrumentos diversos, como paquímetro, dinamômetro e microscópio digital. O procedimento detalhado está registrado no capítulo 3 (Materiais e Métodos) e as medidas completas estão na sessão de anexos.

Para melhor ilustrar essas 100 medidas foram gerados os gráficos 4.19 a 4.23 que demonstram os resultados antes e depois da aplicação da solução.

#### 4.11.2 Medidas antes da solução

No gráfico da Figura 4.19 estão as medidas da cavidade do *joystick* versus haste da chave. O distanciamento entre a média da haste (1,9) e média da cavidade do *joystick* (1,99) demonstra haver folga entre os dois materiais. A situação ideal seria que a linha vermelha estivesse acima da linha azul. Assim, não seria necessário o uso de adesivo para que as duas peças permanecessem conectadas. No gráfico todos os valores estão em milímetros.

Figura 4.19 - Medidas da cavidade do *joystick* versus haste da chave: folga.

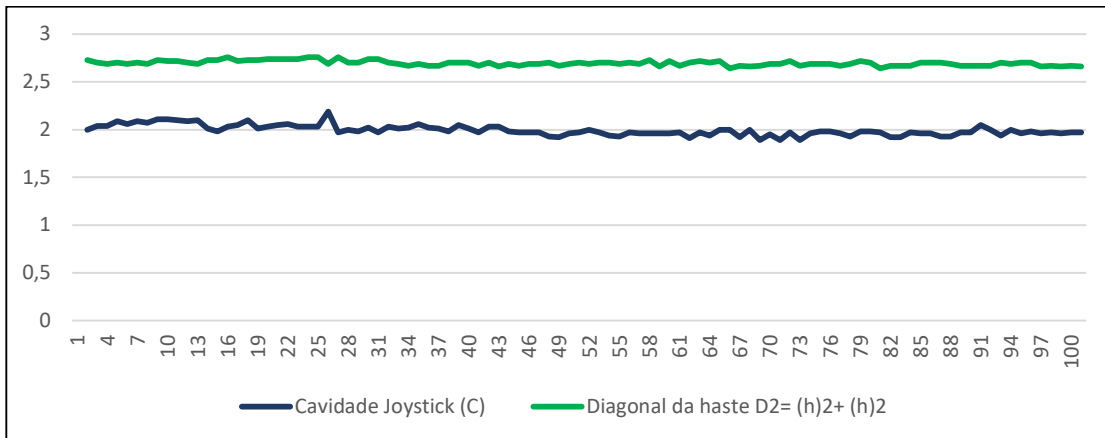


Fonte: AUTOR (2022).

#### 4.11.3 Medidas depois da solução

Após rotacionar o botão *joystick* em 45°, o valor da medida da haste (representado pela sua expansão) se elevou (média de 2,7) acima do valor médio da cavidade do *joystick* (1,99), gerando uma situação de aperto entre os dois componentes. Todas as medidas estão em milímetros.

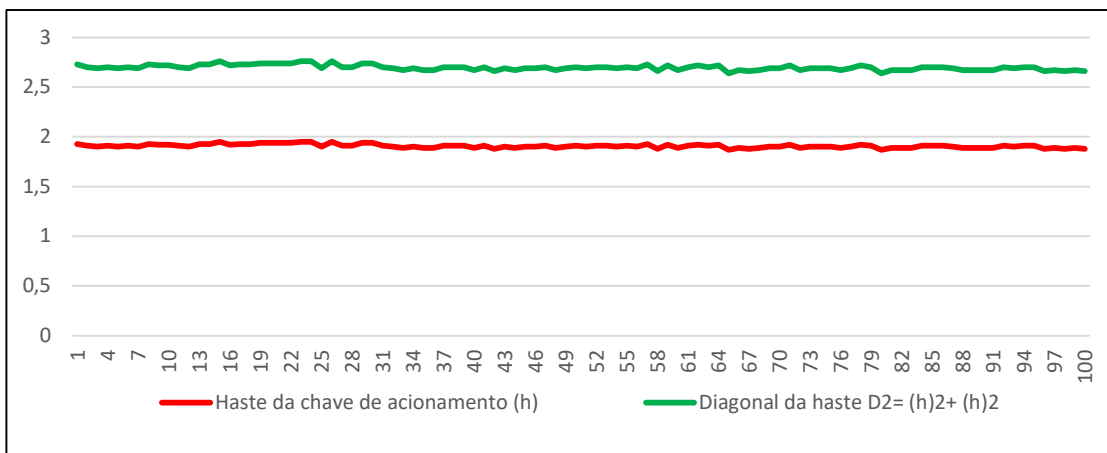
Figura 4.20 - Medidas da haste acima das medidas da cavidade: aperto.



Fonte: AUTOR (2022).

O gráfico a seguir demonstra o quanto a medida da haste se elevou após seu rotacionamento em 45° dentro da cavidade do joystick. O valor médio anterior era 1,91. O valor médio posterior passou a ser 2,7. Todos os valores estão em milímetros.

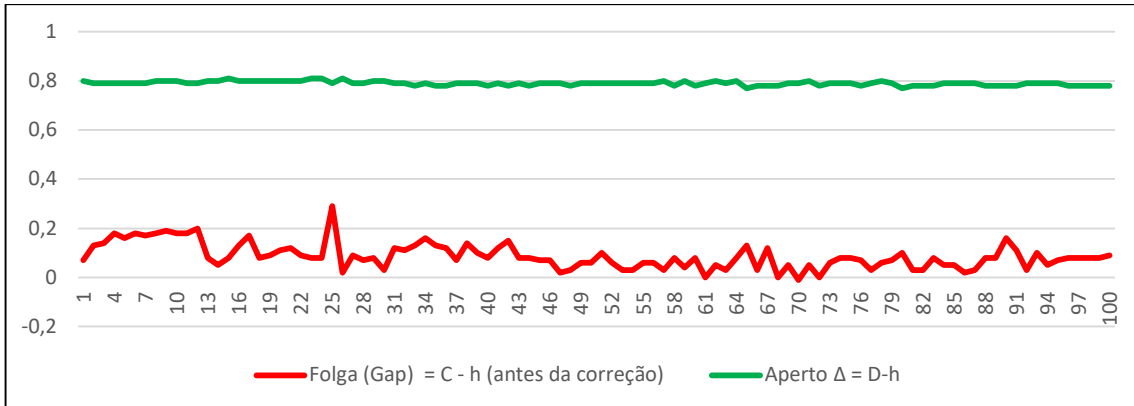
Figura 4.21 - Medida da haste de acionamento antes e depois da expansão.



Fonte: AUTOR (2022).

O gráfico seguinte faz um comparativo entre a folga em vermelho (média de -0,09) que existia antes e o aperto em verde que foi gerado após a solução (média de 0,79). Os valores estão em milímetros.

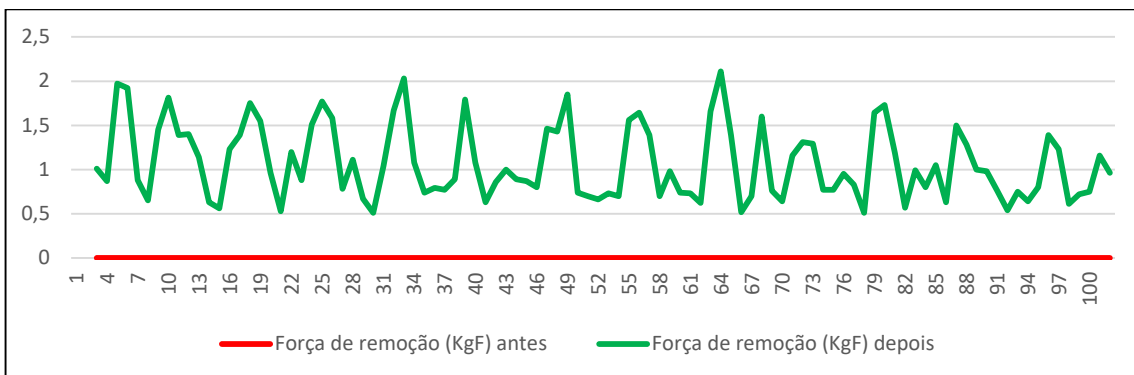
Figura 4.22 - Comparativo entre as medidas de folga e aperto.



Fonte: AUTOR (2022).

Finalmente, o gráfico a seguir faz um comparativo da força necessária para remover o botão *joystick* da haste de acionamento. A linha vermelha representa a força de remoção antes da melhoria, que na prática era nula (zero). A linha verde representa o valor da força depois da melhoria, cuja média ficou em torno de 1,07 Kg.F e valor mínimo acima de 0,5 Kg.F.

Figura 4.23 - Comparativo da força para remover o botão joystick da haste.



Fonte: AUTOR (2022).

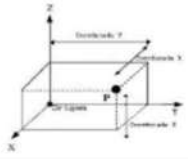
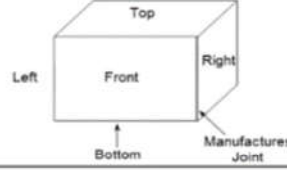
#### 4.11.4 Testes de vibração e queda

Apesar dos bons resultados obtidos nos testes das 100 peças na forma de subconjuntos montados, foi necessário validar a confiabilidade do sistema na condição de produto acabado, aplicando testes que simulam situações extremas de vibração e queda. Entretanto, devido ao caráter destrutivo destes testes (que causa danos irreparáveis ao produto), uma quantidade

limitada a 5 peças de produtos monitores completos e embalados foram utilizadas para aferir a robustez da melhoria.

Os testes foram aplicados à cantos estratégicos do produto embalado, como faces frontais e traseiras, bem como diagonais. Mais detalhes estão descritos na Figura 4.24 junto com o julgamento do teste feito pela equipe de qualidade (aprovado). O relatório completo encontra-se no apêndice.

Figura 4.24 - Resultados dos testes de vibração e queda.

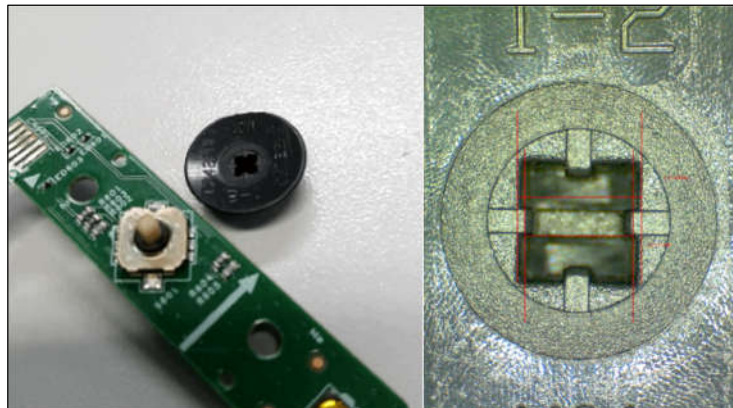
Vibração		Queda	
			
Teste Queda & Vibração			
Serial	Resultado Final	Observações	
BR067NW4TVB0018J0C0L BR067NW4TVB0018J0D6L BR067NW4TVB0018J0E1L BR067NW4TVB0018J0B8L BR067NW4TVB0018J0DUL	<b>APROVADO</b> 28/08/2021	Os produtos suportaram o impacto dos testes de vibração e drop, sem a ocorrência de danos ao botão Joystick	

Fonte: AUTOR (2022).

#### 4.11.5 Benchmarking

Como referência de verificação se as medidas do experimento de rotação do botão *joystick* estão dentro de um padrão aceitável, foram registradas as medidas de outro modelo similar. As fotos da chave e botão *joystick* do modelo similar estão na Figura 4.25.

Figura 4.25 - Benchmarking com modelo similar.



Fonte: AUTOR (2022).

Com base nos valores registrados na Tabela 4.1 e comparando-os com os que foram medidos na aplicação da melhoria, pode-se concluir que os valores obtidos com a mudança de design estão melhores ou tão bons com o que foi obtido no produto de referência. Um exemplo são os valores de Delta (aperto) com 0,04 mm de média para o produto de referência e 0,79 mm para o produto em melhoria.

**Tabela 4.1 - Benchmarking com medidas do modelo similar.**

Peça	Haste da chave de acionamento (h)	Cavidade <i>Joystick</i> (C)	Delta $\Delta = C - h$ (aperto)	Força de remoção (KgF)
1	1,91	1,83	0,08	1,02
2	1,90	1,88	0,02	0,99
3	1,91	1,87	0,04	1,20
4	1,94	1,87	0,07	1,20
5	1,90	1,86	0,04	0,86
6	1,89	1,86	0,03	0,85
7	1,89	1,87	0,02	1,36
8	1,89	1,86	0,03	1,07
9	1,89	1,87	0,02	1,36
10	1,93	1,87	0,06	1,22
<b>Média</b>	<b>1,91</b>	<b>1,86</b>	<b>0,04</b>	<b>1,11</b>

Fonte: AUTOR (2022).

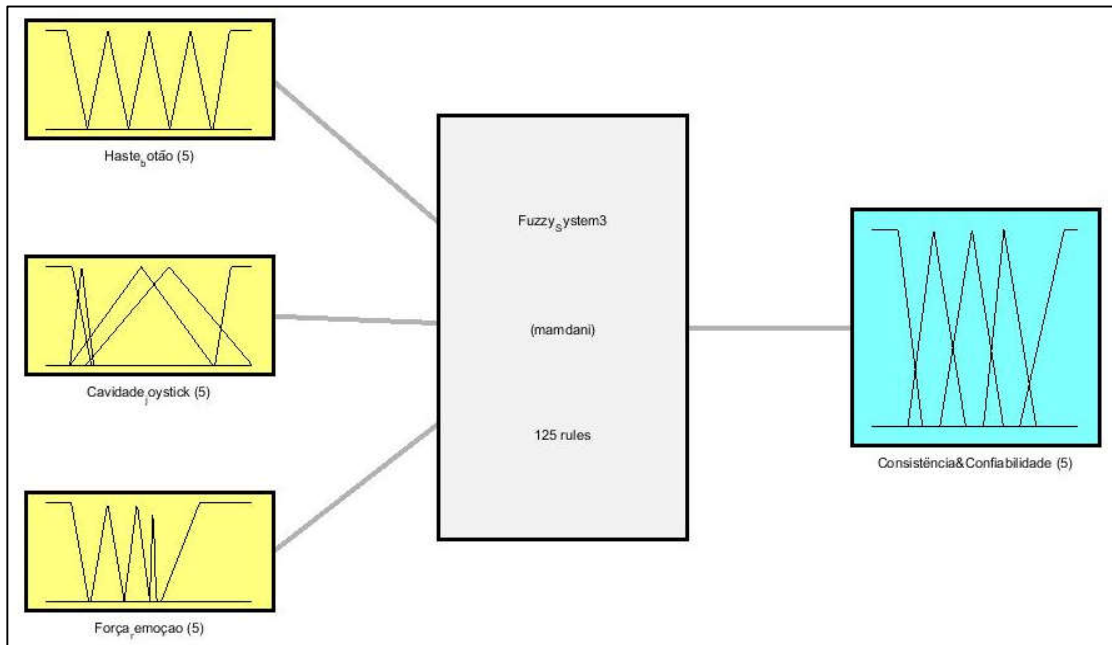
#### 4.12 FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS PARA VALIDAÇÃO DE RESULTADOS

Algumas ferramentas computacionais poderiam validar as soluções aplicadas neste estudo, tais como: Lógica *Fuzzy*, Algoritmo Genético e Rede Neural Artificial (RNA). No entanto, com o propósito de tornar essa validação mais ágil, foi selecionado apenas a Lógica *Fuzzy*, por ser uma ferramenta simples e de fácil aplicação e interpretação.

##### 4.12.1 Aplicação da Lógica *Fuzzy*

Com base nas medidas realizadas nas peças do produto com *design* melhorado e também nas peças de referência de *benchmarking*, e definidos os parâmetros de avaliação, foi possível criar um sistema *Fuzzy* com as suas respectivas variáveis de entrada e saída.

Figura 4.26 - Sistema Fuzzy para a avaliação das medidas da peça.



Fonte: AUTOR (2022).

Com base nas medidas registradas nas Tabelas 4.2 e 4.3, foi gerada uma classificação dos parâmetros medidos da haste do botão de acionamento, baseado nos critérios: MUITO BAIXO, BAIXO, MÉDIO, ALTO e MUITO ALTO.

**Tabela 4.2 - Critério de avaliação das medidas da haste do botão de acionamento.**

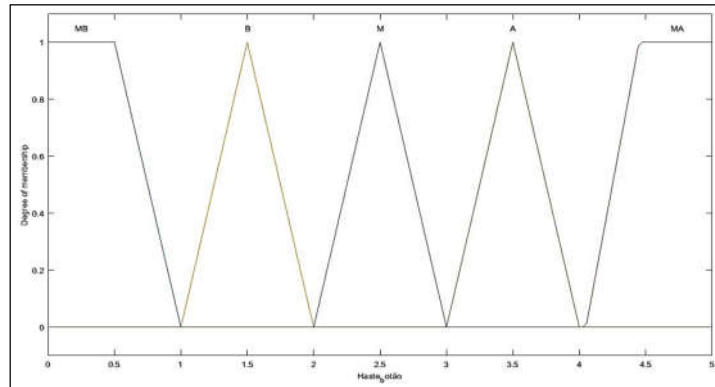
<b>Classificação</b>	<b>Faixa medida</b>
MUITO BAIXO	1,87 ~ 1,89
BAIXO	1,98 ~ 1,91
MÉDIO	1,91 ~ 1,92
ALTO	1,92 ~ 1,94
MUITO ALTO	1,94 ~ 1,95

Fonte: AUTOR (2022).

A representação gráfica dos critérios de avaliação das medidas da haste do botão de acionamento pode ser determinado por um conjunto de parâmetros linguísticos, os quais são: Muito baixo (MB), Baixo (B), Médio (M), Alto (A) e Muito Alto (MA).



Figura 4.27 - Representação gráfica dos critérios de avaliação da haste.



Fonte: AUTOR (2022).

A classificação dos parâmetros medidos na cavidade do *joystick* e com critérios similares ao item anterior, estão registradas na Tabela 4.3.

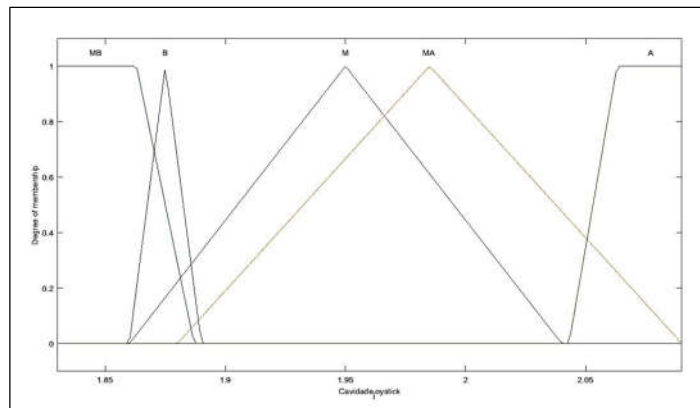
**Tabela 4.3 - Critério de avaliação das medidas da cavidade do *joystick*.**

Classificação	Faixa medida
MUITO BAIXO	1,83 ~ 1,89
BAIXO	1,86 ~ 1,89
MÉDIO	1,86 ~ 2,04
ALTO	2,04 ~ 2,09
MUITO ALTO	1,88 ~ 2,09

Fonte: AUTOR (2022).

A representação gráfica dos critérios de avaliação das medidas da cavidade do *joystick* pode ser determinada por um conjunto de parâmetros linguísticos, os quais são: Muito baixo (MB), Baixo (B), Médio (M), Alto (A) e Muito Alto (MA).

Figura 4.28 - Critérios de avaliação das medidas da cavidade do *joystick*.



Fonte: AUTOR (2022).

A classificação dos parâmetros medidos como força de remoção e critérios similares ao item anterior, estão registradas na Tabela 4.4.

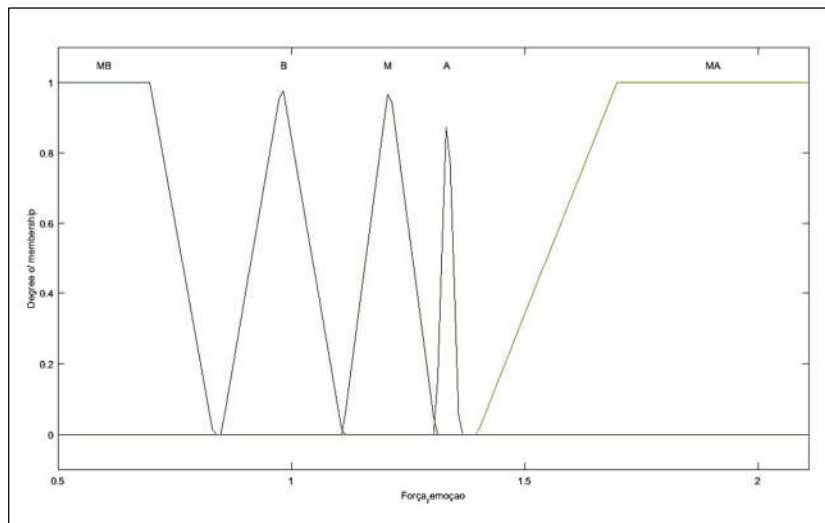
**Tabela 4.4 - Força de remoção do botão *joystick* após melhoria.**

Classificação	Faixa medida
MUITO BAIXO	0,51 ~ 0,85
BAIXO	0,85 ~ 1,11
MÉDIO	1,11 ~ 1,31
ALTO	1,31 ~ 1,36
MUITO ALTO	1,36 ~ 2,11

Fonte: AUTOR (2022).

Como é característico dos sistemas Fuzzy, a representação gráfica dos critérios de avaliação da força de remoção do botão *joystick* pode ser determinada por um conjunto de parâmetros linguísticos, os quais são: Muito baixo (MB), Baixo (B), Médio (M), Alto (A) e Muito Alto (MA).

Figura 4.29 - Representação gráfica dos critérios de avaliação da força.



Fonte: AUTOR (2022).

Baseado nas funções de avaliação e variáveis de entrada e saída, são geradas 125 regras de inferência. Uma tabela foi gerada por meio da avaliação dos três parâmetros de entrada e obtida a partir da análise de especialistas. Por constar de muitas informações, a mesma encontra-se no apêndice.

Considerando equação:

$$R = N^v \quad (4.1)$$

Onde:

$R$  é a quantidade de regras;

$N$  é o número de inferências;

$v$  é o número de variáveis.

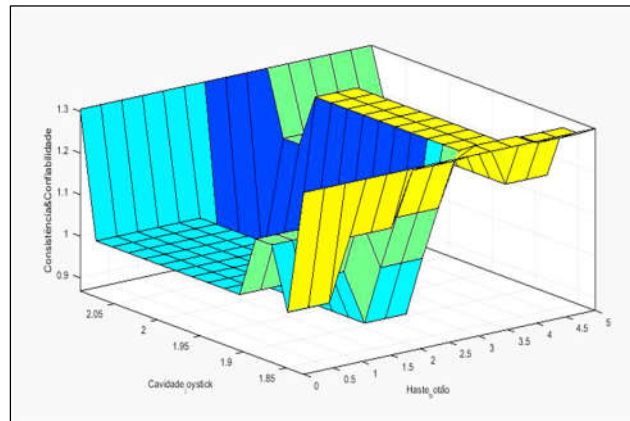
Então:

$$R = 5^3$$

$$R = 125$$

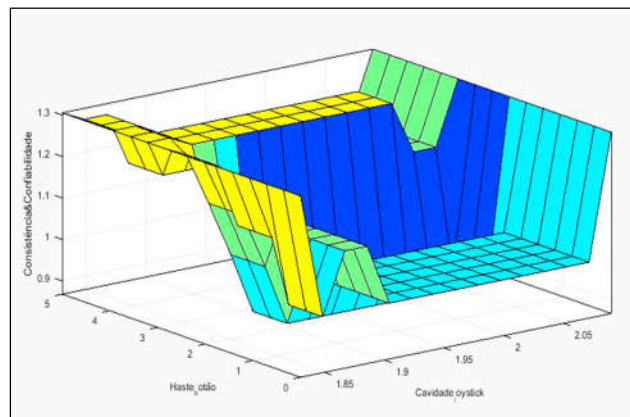
Com base no conjunto estabelecido de regras, a inferência lógica difusa fornece os resultados da consistência/confiabilidade de acordo com qualquer combinação dos parâmetros de entrada. Essas combinações são representadas nos gráficos de superfícies tridimensionais (3D) nas Figuras 4.30, 4.31 e 4.32.

Figura 4.30 - Consistência/confiabilidade *versus* cavidade *vesus* haste.



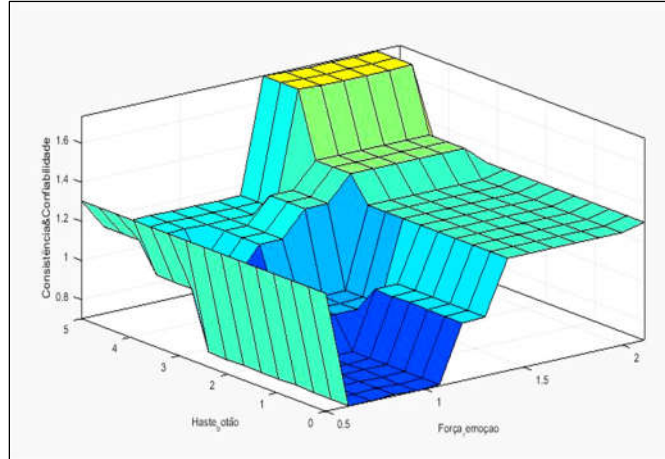
Fonte: AUTOR (2022).

Figura 4.31: Consistência/confiabilidade *versus* haste *vesus* cavidade.



Fonte: AUTOR (2022).

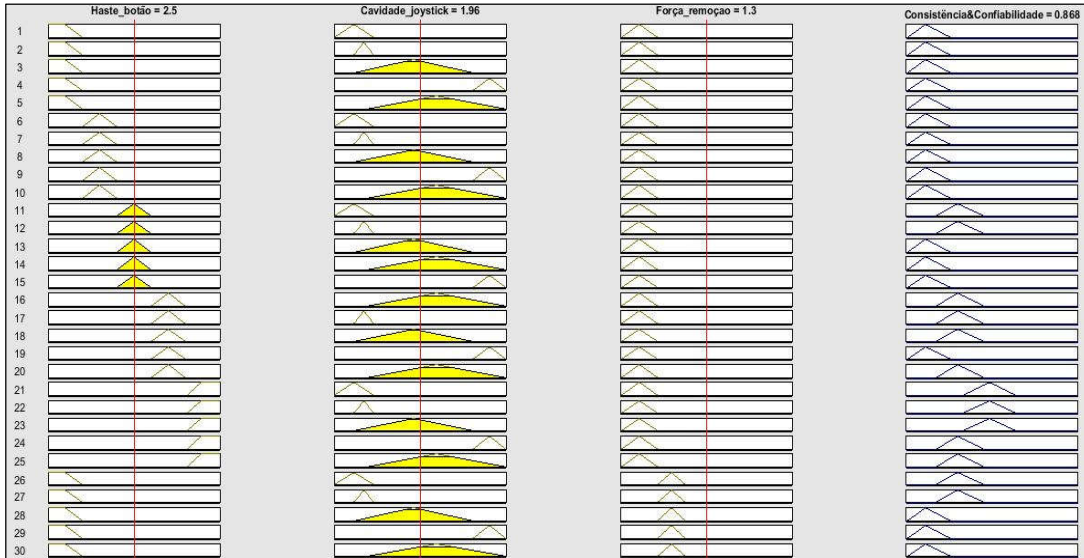
Figura 4.32 - Consistência/confiabilidade versus haste versus força.



Fonte: AUTOR (2022).

Os valores de consistência/confiabilidade são calculados com base nas regras de inferência estabelecidas, a partir dos três parâmetros (haste, cavidade e força) utilizando o sistema de inferência lógica *Fuzzy*, conforme mostrado na Figura 4.33:

Figura 4.33 - Visão geral das regras de inferência via sistema Fuzzy.

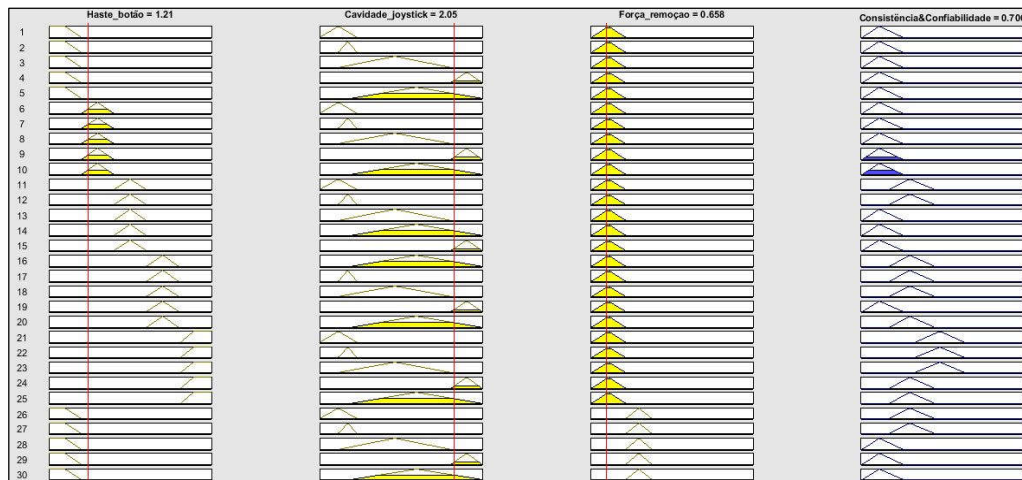


Fonte: AUTOR (2022).

O modelo de lógica difusa calcula os diferentes cenários de consistência/confiabilidade e fornece um resultado diferente para cenários. Por exemplo, o valor padrão encontrado no resultado foi de 0,868 (considerando haste = 2,5, cavidade = 1,96 e força = 1,3).

Suponhamos que o valor das medidas da haste, cavidade e força assumissem valores críticos (1,21, 2,05 e 0,658, respectivamente), o resultado seria 0,706, representando uma baixa consistência e confiabilidade do sistema.

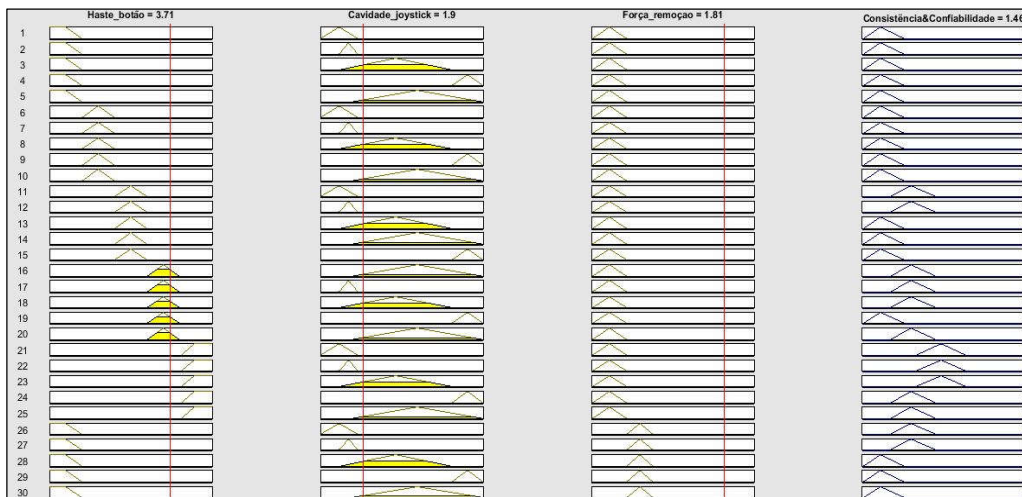
Figura 4.34 - Resultado representando uma baixa consistência e confiabilidade.



Fonte: AUTOR (2022).

Entretanto, suponhamos que os valores das medidas da haste, cavidade e força assumam valores considerados bons (3,71, 1,9 e 1,81, respectivamente), o resultado seria 1,46, representando uma ótima consistência e confiabilidade do sistema.

Figura 4.35 - Resultado representando uma ótima consistência e confiabilidade.



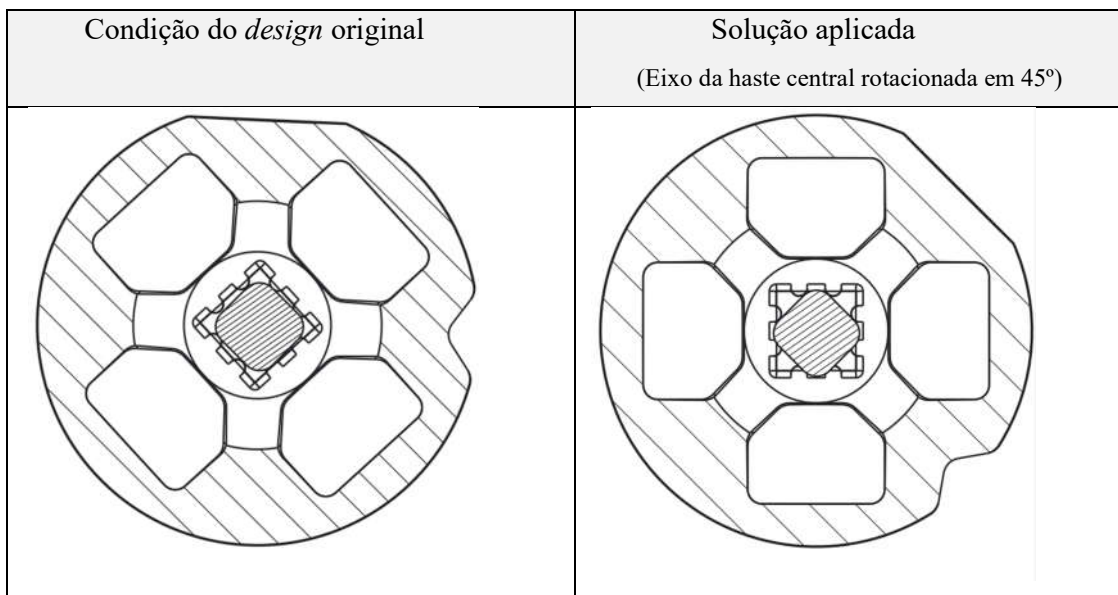
Fonte: AUTOR (2022).

## 4.13 OUTROS ASPECTOS

### 4.13.1 Área de contato

No *design* original, a área de contato entre o *joystick* e haste da chave é mínimo (ou nenhum) devido às medidas da haste e cavidade do *joystick* estarem muito próximas entre uma e outra.

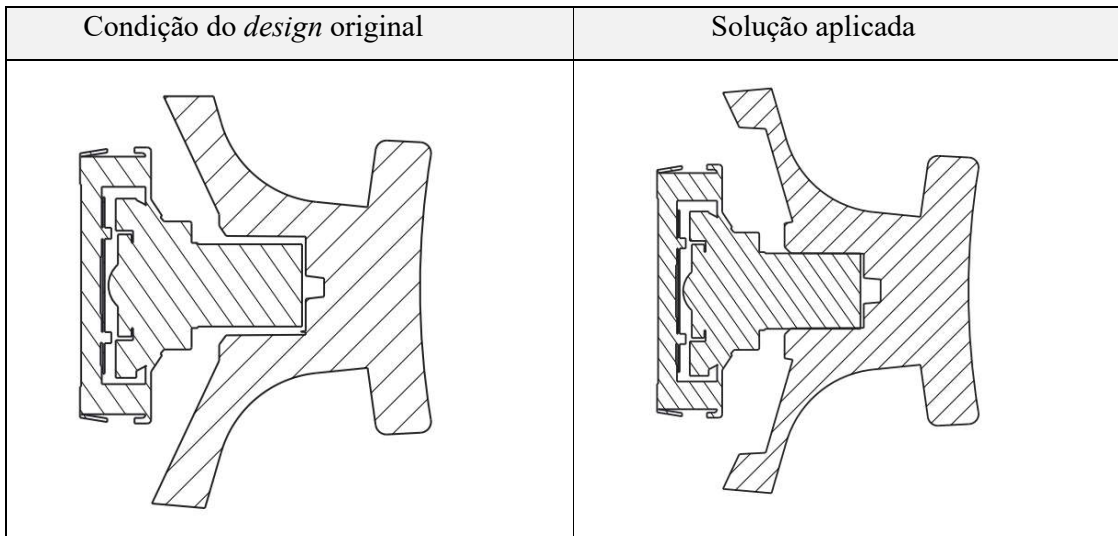
Figura 4.36 - Comparação (sem e com aplicação da solução proposta).



Fonte: AUTOR (2022).

Ao observar o sistema de um ângulo lateral, torna-se mais perceptível observar as diferenças que existem entre as duas configurações. Na primeira imagem da Figura 4.37 é possível observar que não existe contato entre a haste central e o *Joystick*, justificando a necessidade adesivo. Na segunda imagem onde há solução aplicada (eixo da haste central rotacionada em em 45°), há forte contato entre eixo central e o *joystick*, não necessitando de adesivo.

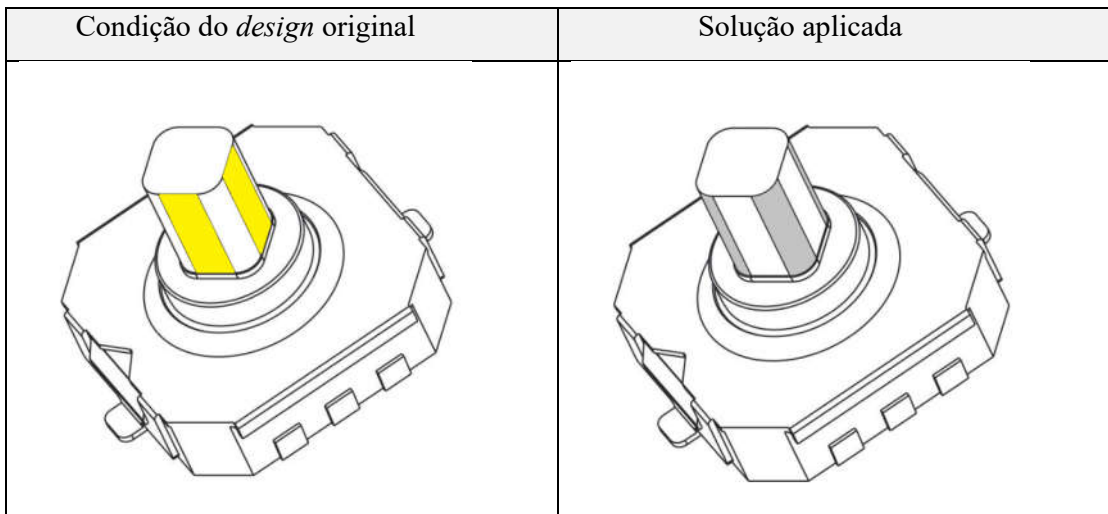
Figura 4.37 - Comparação (sem e com aplicação da solução proposta).



Fonte: AUTOR (2022).

Na Figura 4.38, a área amarela mostra o local onde teoricamente deveria haver contato entre a haste e o *joystick*. Na imagem ao lado, a área cinza ilustra a área de contato existente entre a haste e o botão *joystick*.

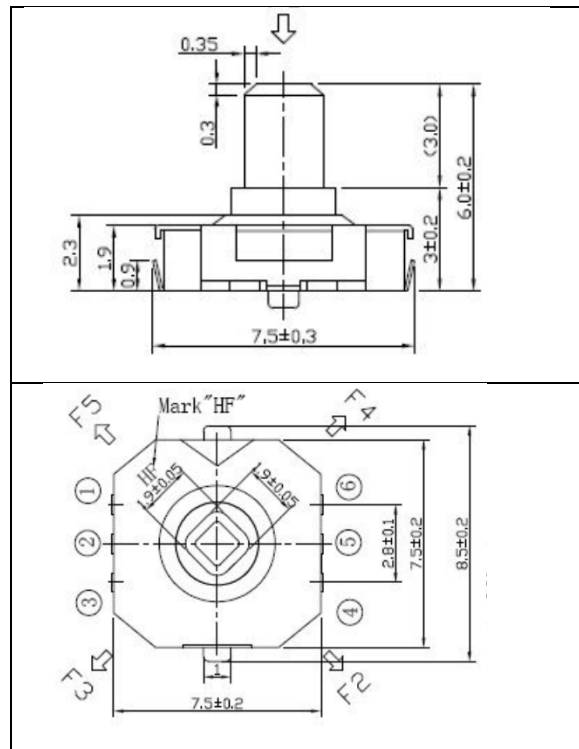
Figura 4.38 - Comparação (sem e com aplicação da solução proposta).



Fonte: AUTOR (2022).

Considerando as informações contidas nas especificações da peça (Figura 4.39), pode-se calcular o valor aproximado da área de contato (área cinza da Figura 4.38).

Figura 4.39 - Dimensões da chave de acionamento.



Fonte: AUTOR (2022).

$$A = B * h * l \quad (4.2)$$

Onde:

$A$  é a área de contato;

$B$  é o valor da base, ou seja, a largura da área cinza;

$l$  é o número de lados onde há contato (área cinza).

$$A = (1.99 - 0.35) * 3 * 4$$

$$A = 1.64 * 12$$

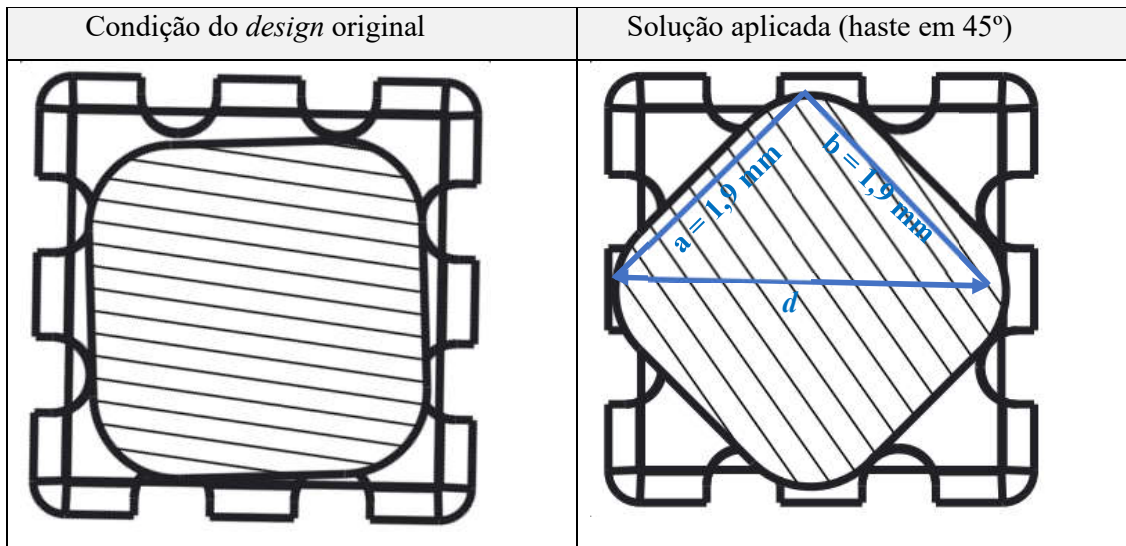
$$A = 19.68 \text{ mm}^2$$

#### 4.13.2 Expansão

Considerando que a seção transversal da haste da chave de contato tem o formato de um quadrado com bordas arredondadas, a zona de expansão é calculada como a hipotenusa de um triângulo retângulo.



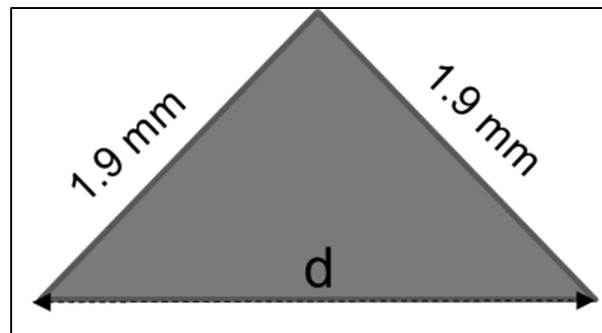
Figura 4.40 - Comparação (sem e com aplicação da solução proposta).



Fonte: AUTOR (2022).

Para melhor entendimento, foi separado para análise a área correspondente ao triângulo retângulo conforme Figura 4.41:

Figura 4.41 - Equiparação de parte da haste da chave a um triângulo retângulo



Fonte: AUTOR (2022).

Para se calcular a área de expansão, é necessário seguir as seguintes etapas:

1. Calcular o valor de “*d*”

$$d^2 = a^2 + b^2$$

$$d^2 = (1.9)^2 + (1.9)^2$$

$$d^2 = 3.61 + 3.61$$

$$d = \sqrt{7,22}$$

$$d = 2.68 \text{ mm}$$

2. Em seguida, deve-se subtrair do valor da medida lateral, que é 1,9 mm. Nessa operação calcula-se a expansão total.

$$\text{Expansão total} = d - 1.9$$

$$\text{Expansão total} = 2.68 - 1.9$$

$$\text{Expansão total} = 0.78$$

3. Como a expansão total considera os dois lados, deve-se dividir por 2 para se calcular o quanto a haste aumenta para as laterais em cada lado quando a mesma é rotacionada em 45°.

$$\text{Expansão lateral} = 0.78/2$$

$$\text{Expansão lateral} = 0.39 \text{ mm}$$

Considerando as tolerâncias especificadas na Figura 4.42, os valores de expansão podem variar de 0.36 mm a 0.41 mm.

Com base nos cálculos acima, a medida da expansão após rotação pode ser determinada pela equação abaixo:

$$\text{Expansão} = (\sqrt{2b^2} - a) / 2 \quad (4.3)$$

Onde:

$b$  é medida da largura da haste do botão de acionamento;

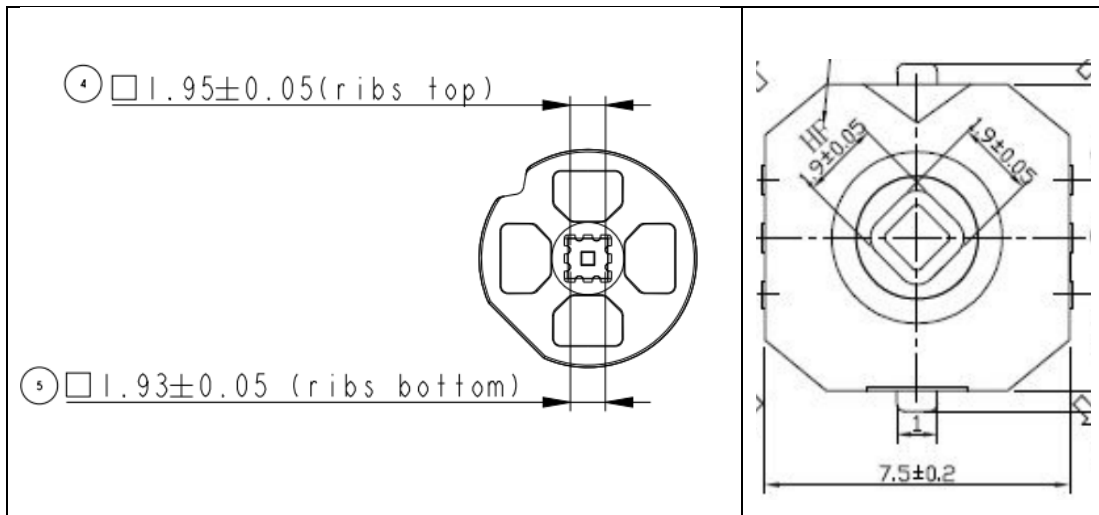
$a$  é medida da abertura do botão *joystick*.

Obs: Como já foi enunciado anteriormente, a necessidade de dividir por 2 ocorre por conta da expansão acontecer nos dois extremos do triângulo retângulo que forma com o rotacionamento da haste do botão de acionamento em 45°.

#### 4.13.1 Valor mínimo crítico após melhoria

Considerando o valor máximo de abertura da cavidade do *joystick* e o valor mínimo da largura da haste do botão de acionamento, é possível calcular o valor mínimo de expansão da haste quando rotacionada em 45°:

Figura 4.42 - Especificações do botão *joystick* e haste do botão de acionamento.



Fonte: AUTOR (2022).

Medida máxima da abertura do *joystick* =  $1,95+0,05 = 2,00$  mm (a)

Medida mínima da largura da haste do botão de acionamento =  $1,9-0,05 = 1,85$  mm (b)

Medida da expansão após rotação:

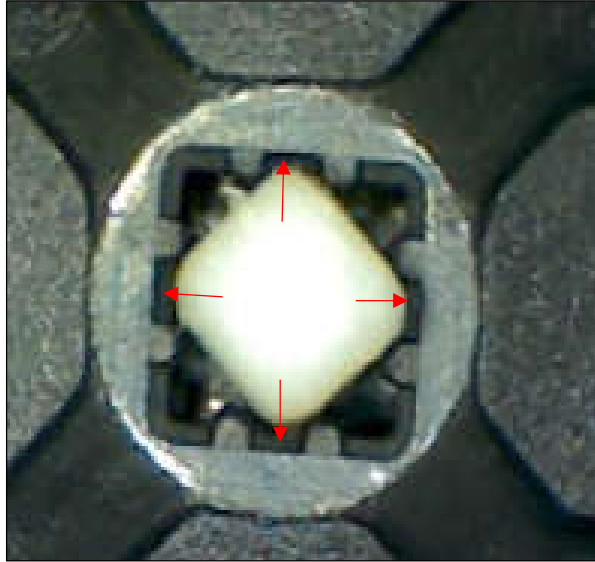
$$\begin{aligned} & (\sqrt{2b^2} - a)/2 \\ & = (\sqrt{2 * (1,85)^2} - 2)/2 = (2,61 - 2)/2 = 0,3 \text{ mm} \end{aligned} \quad (4.4)$$

O resultado acima demonstra que, mesmo em situação crítica – quando a abertura do botão *joystick* está em sua medida máxima e a haste da chave está em sua medida mínima – sempre haverá tracionamento entre estes dois componentes por conta da expansão mínima de 0,3 mm.

### 4.13.3 Tração

A expansão de 0.39 mm em cada um dos vértices transversais da haste da chave de contato gera uma força de remoção 1 kg.F distribuída pelos 4 vértices do pino interno, ou seja, 0,25 Kg.F em cada lado.

Figura 4.43 - Pontos de tração no sistema haste/*joystick*.



Fonte: AUTOR (2022).

Considerando a equação:

$$Fat = \mu N \quad (4.5)$$

Os coeficientes de atrito em polímeros deslizando contra eles mesmos, ou contra metais, ou cerâmicas estão na faixa de 0,1 a 0,5. Usando um valor médio de 0,3, a força normal neste sistema pode ser calculado da seguinte forma:

$$\begin{aligned} Fat &= \mu N \\ 1,073 &= 0,3 * N \\ N &= 3,576 \text{ N} \end{aligned}$$

Neste caso,  $N$  significa a intensidade da força normal realizada pela haste do botão de acionamento em cada uma dos quatro cantos dentro do *joystick*.

#### 4.14 RESULTADOS OBTIDOS

Com a implementação das soluções propostas, os resultados alcançados foram os seguintes:

- Solução de problemas de *design*, com redução de índice de defeitos *Fail Of Rate* (F.O.R.) de 20% para menos de 3%;
- Redução de custos com peças de reposição (adesivo, solda, botões *joystick* e chaves de acionamento);
- Diminuição de custos e tempo com mão-de-obra realizado por técnico especializado em serviços de reparo de peças defeituosas;
- Melhoria dos indicadores de qualidade e produtividade;
- Melhoria dos aspectos ambientais com a eliminação ou redução do uso de adesivo no produto;
- Diminuição de riscos à saúde dos operadores, visto que foi reduzido a utilização de adesivo instantâneo no processo.
- Otimização do processo fabril por consequente redução de postos de montagem. Neste caso, o resultado ocorreu em função da otimização do posto de montagem do *joystick*.
- Considerando o custo unitário de R\$ 877,59 para produzir uma unidade do produto e redução de índice de defeitos de 20%, é possível estimar os custos de economia durante o período de implementação da melhoria, ou seja, desde o início das vendas em setembro de 2021 até os dias atuais (fevereiro de 2022). Estes custos prováveis estão detalhados na Tabela 4.5.

**Tabela 4.5 - Custos prováveis de economia do período de implementação.**

	Unitá rio	Set'21	Out'21	Nov'21	Dez'21	Jan'22	Fev'22	Total
<b>Unidades produzidas</b>	1	4.160	12.960	16.987	28.555	22.840	7.000	<b>92.502</b>
<b>Custos de produção (R\$)</b>	877,5	3.650.	11.373.	14.907.	25.059.	20.044.	6.143.	<b>81.178.</b>
	9	774	566	621	582	155	130	<b>830</b>
<b>Custos prováveis de economia (R\$)</b>	175,5	730.15	2.274.7	2.981.5	5.011.9	4.008.8	1.228.	<b>16.235.</b>
	1	4	13	24	16	31	626	<b>766</b>

Fonte: AUTOR (2022).

# CAPÍTULO 5

---

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia aplicada no desenvolvimento desse estudo teve abordagem combinada como pesquisa-ação, o que significou no papel ativo na análise do problema e desenvolvimento de soluções na organização.

Dessa forma, possibilitou-se a verificação prática e mensuração da eficácia da implantação do PDCA como método para análise e resolução de problemas na empresa.

A implementação da metodologia PDCA aliado à aplicação de ferramentas computacionais para solução do problema em questão, abrangendo as fases da introdução de novos produtos até a produção em massa ocasionou um acréscimo de habilidades e experiências técnicas aos envolvidos. Outro ganho foi a redução do índice de defeitos de 20,7% para 3%. Esse resultado demonstrou a eficácia do PDCA que, além de orientar os processos de análises, fez com que os profissionais envolvidos nas ações de resoluções de problemas pudessem se tornar naturalmente motivados a trabalhar em prol da melhoria contínua.

Além do PDCA, o Kaizen provou ser mais que uma ferramenta da qualidade, mas uma filosofia de aperfeiçoamento constante, que, além de promover ações de melhoria do processo produtivo, pode ser incorporado na cultura da organização em forma de procedimentos e programas de desenvolvimento contínuo. Dessa forma, assim como na organização em questão, outras empresas também podem alcançar resultados similares, tais como reduzir seus índices de defeitos, diminuir custos com refugo e aumentar indicadores de produtividade e lucro.

Ainda como resultados mensuráveis, o presente trabalho constatou que a aplicação do PDCA gerou a implementação de técnicas da qualidade que podem ser utilizadas no processo de melhoria de novos produtos atingindo-se resultados eficientes. Ao longo do processo de solucionamento, houve significativa redução do número de defeitos em detrimento das melhorias aplicadas.

Outra conclusão importante foi a constatação de que os procedimentos baseados num evento PDCA, uma vez padronizados e organizados, permitem aos colaboradores criarem uma memória organizacional com sólido embasamento experimental. Por conta disso, a empresa estabeleceu o procedimento de lições aprendidas, cujo objetivo principal foi transformar as experiências vividas nos processos de resoluções de problemas complexos em referências para

melhorias futuras de produtos e processos.

## 5.1 CONCLUSÕES

Este estudo utilizou ferramentas de Qualidade e Lógica Fuzzy para análise e solução de problemas em um produto monitor em fase de lançamento. Como resultado, apresentaram-se os seguintes benefícios: redução de índice de defeitos (de 20% para menos de 3%) e diminuição de custos com peças de reposição e serviços de reparo. Houve também, dentre outros, impacto nos custos do produto, com provável economia com a implementação da melhoria estimados na ordem de R\$ 16 milhões em um período de seis meses. Considerando estes fatores, concluiu-se que este trabalho produziu os efeitos desejados sobre seu objeto de estudo de forma satisfatória.

## 5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O trabalho apresentado sugere que novas pesquisas e estudos relacionados ao tema sejam efetuados de maneira a contribuir para uma implementação do PDCA num escopo mais abrangente que vá além do processo produtivo, como mudanças e melhorias de *design*. Estudos posteriores poderão contribuir para que as organizações melhorem seus serviços, aperfeiçoem seus produtos, motivem e desenvolvam seus colaboradores. Assim, o PDCA aliado às ferramentas computacionais poderá contribuir como ferramenta de enfrentamento de problemas no processo decisório.

Finalmente, sugere-se que sejam conduzidos estudos que comprovem os efeitos do uso das Ferramentas da Qualidade sobre a cognição humana, visto que é perceptível que o cérebro humano se desenvolve quando submetido à desafios diversos, principalmente os oriundos do ambiente corporativo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, Fabrício Resende de. **Ferramentas e técnicas de gestão de qualidade em uma incubadora de empresas de base tecnológica—um estudo de caso**, 2015.
- ALCAIDE, Eduard; WILTGEN, Filipe. **Estudo das tecnologias em prototipagem rápida: passado, presente e futuro**. Revista Ciências Exatas, 2018.
- ANDRADE, F.F.D. **O método de melhorias PDCA**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica - EP: São Paulo, 2003.
- ANDRADE, F.F.D. **O método de melhorias PDCA**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica - EP: São Paulo, 2003.
- ARANHA, Norberto *et al.* **A lei de Hooke e as molas não-lineares, um estudo de caso**. Revista Brasileira de Ensino de Física, 2016.
- ARAUJO, Ernesto. **Lógica Difusa (Fuzzy) e Raciocínio Aproximado: Conceitos e Aplicações**. Synergismus scyentifica UTFPR, 2009.
- BAUMAN, Z. **Modernidade líquida**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2001.
- BEST, Mark; NEUHAUSER, Duncan. **Walter A Shewhart, 1924, and the Hawthorne factory. BMJ quality & safety**, 2006.
- BIALY, Witold; RUZBARSKY, Juraj. **Breakdown cause and effect analysis. Case study. Management systems in production engineering**, 2018.
- BONDY, J. A.; MURTY, U. S. R. **Théorie des grafes**, 2008.
- BRAMBILLA, Marco; BUTTI, Stefano; FRATERNALI, Piero. **Webratio bpm: A tool for designing and deploying business processes on the web. In: International Conference on Web Engineering. Springer, Berlin, Heidelberg, 2010.**
- BRAVIM, E. C.; PEREIRA, R. A. **Mapeamento de zonas de desgaste em hidrociclones na classificação de polpa de minério**. TCC de graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Espírito Santo, 2007.



CALDAS, Helena; CUNHA, Altair L.; MAGALHÃES, Maria Elisa. **Repouso e movimento: que tipo de atrito? O que relatam os livros didáticos. Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, 2000.

CAMPOS, V.F, TQC: **Controle da qualidade total - no estilo japonês**, 9 ed. Nova Lima: Editora Falconi, 2014.

CARNEIRO, Lucas Chamati Pereira; FERREIRA, Tamires Soares. **Um estudo de caso sobre os itens com qualidade não conforme de uma empresa metalmecânica de maringá**. Trabalhos de Conclusão de Curso do DEP, 2019.

CARPINETTI, Luiz Cesar Ribeiro *et al.* **Gestão da qualidade**. Editora Atlas SA, 2012.

CARVALHO, M. S. **Resistência dos materiais**. Rio de Janeiro: Expansão, 1979.

CATAPAN, M.F., FORCELLINI, F.A., FERREIRA, C.F., **Instruções para o Projeto Detalhado de Componentes de Plástico Injetados Usando DFMA**”, Anais do XXXVI Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, São Paulo, Brasil. 2008.

CHIAVENATO, I. **Administração da Produção**. 11ª edição – Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

CHIAVENATO, Idalberto. **Iniciação à administração de materiais. In: Iniciação à administração de materiais**. 1991.

COLENCI, Ana Teresa. **O ensino de engenharia como uma atividade de serviços: a exigência de atuação em novos patamares de qualidade acadêmica**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2000.

CORRÊA, Henrique L.; GIANESI, Irineu GN; CAON, Mauro. **Planejamento, programação e controle da produção**. São Paulo: Atlas, 2001.

CORREIA, J. **Administracao da Producao e Operacoes**. RAE eletrônica, 2021.

DAUZÈRE-PÉRÈS, Stéphane; LASSERRE, Jean-Bernard. **Sobre a importância de sequenciar decisões no planejamento e agendamento da produção. Transações internacionais em pesquisa operacional**, 2002.

DE ABREU, Rodrigo Mesquita. **Proposta de Arquitetura Ppra um Sistema de Detecção de Plágio Multi-Algoritmo**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2011.

DE ANDRADE ARGERICH, Eloísa Nair. **A Globalização e a Organização do Processo de Trabalho**. Revista Direito em Debate, 2005.

DE CASTRO MARINO, Lúcia Helena Fazzane. **Gestão da qualidade e gestão do conhecimento: fatoreschave para produtividade e competitividade empresarial**. XIII SIMPEP, 2006.

DE SOUSA JÚNIOR, João Henriques; CARDOSO, Janaína Gularte; IWAYA, Gabriel Horn. **Análise comparativa das estratégias de *design* de loja e merchandising visual em lojas de vestuário brasileiro**. In: CLAV 2019. 2019.

DOBRENKO, Evgeny. **A cultura soviética entre a revolução e o stalinismo**. Estudos avançados, 2017.

DORIGO, Marco; MANIEZZO, Vittorio; COLORNI, Alberto. **The ant system: An autocatalytic optimizing process**. 1991.

DORIGO, Marco; SOCHA, Krzysztof. **An introduction to ant colony optimization**. In: **Handbook of Approximation Algorithms and Metaheuristics, Second Edition**. Chapman and Hall/CRC, 2018.

ESPOSTE, Phylipe Matheus de Castro. **Estampagem incremental em chapa de aço inoxidável aisi 304 utilizando ferramentas esféricas com a peça submersa em lubrificante mineral integral com aditivos de extrema pressão**. 2018.

FERREIRA, Denise; BAIRÁN, Jesús; MARÍ, A. R. **Modelo de análise não linear e dependente no tempo de elementos viga de betão armado submetidos ao esforço transverso**. In: **Proc. CMNE-Congresso de Métodos Numéricos em Engenharia**. 2011.

FUX, Jacques; MOREIRA, Maria Elisa. **Fronteiras, deslocamentos, fluxos: quando a ficção questiona o estatuto da ficção**. Remate de males, 2008.

GAITHER, Norman; FRAZIER, Greg. **Administração da produção e operações**. Pioneira Thomson Learning, 2001.

GIOCONDO, Francisco I. César. **Ferramentas Básicas da Qualidade. Instrumentos para gerenciamento de processo e melhoria contínua.** São Paulo: Biblioteca24horas, 2011.

GONÇALVES, Luciana; DE BARROS, Carlos Alberto Cereja. **Marketing Estratégico e Inteligência Competitiva,** Monografia de obtenção de grau de especialização em Gestão Empresarial, 2011.

GONÇALVES, Nathália Gabriela. **Novos desenvolvimentos para análise numérica de pilares mistos em condições de incêndio baseado no Eurocódigo 4.** Tese de Doutorado. 2019.

GONTIJO, F. E. *et al.* **Estratégia de fornecimento na indústria de duas rodas: um estudo de caso de comkershup.** In: VI Congresso Nacional de Excelência em Gestão, 2010, Niterói. Anais eletrônicos. Niterói: Inovarse, 2010. Disponível em: <[https://www.inovarse.org/sites/default/files/T10\\_0266\\_1151\\_7.pdf](https://www.inovarse.org/sites/default/files/T10_0266_1151_7.pdf)>. Acesso em: 24 de outubro de 2021, 19h20min.

GUNN, W.; DONOVAN, J. **Design Anthropology: An Introduction.** In: gunn, w.; donovan, j. (Eds.). Design and Anthropology. London: Ashgate, 2012.

GWIN, Carol F.; GWIN, Carl R. Product attributes model: **A tool for evaluating brand positioning.** *Journal of Marketing theory and Practice*, 2003.

HARVEY, D. **A condição pós-moderna.** 16 ed. São Paulo: Loyola, 2007.

HIBBELER, Russell Charles. **Mechanics of materials.** Pearson Educación, 2005.

HORN, Bibiana Silveira; MEYER, Guilherme Corrêa; RIBEIRO, Vinicius Gadis. **Reflexões sobre o uso de metodologias de projeto de produto no desenvolvimento de coleção de moda.** ModaPalavra e-periódico, 2013.

KAJEWSKI, L. J.; RITZMAN, L. P.; MALHORTA, M. K. **Administração de produções e operações.** 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

KAMARANI, A.K., NARS, E.A., **Engineering Design and Rapid Prototyping,** Ed. Springer, New York, United States of American. 2010.

KAMIŃSKI, M.; PAWLAK, W. **Load capacity and stiffness of angular cross section reinforced concrete beams under torsion.** Archives of civil and Mechanical Engineering, 2011.

KOTLER, P.; KELLER, K. L. **Administração de marketing.** 12. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2006.

KURT, Resul. **Industry 4.0 in terms of industrial relations and its impacts on labour life.** Procedia computer science, 2019.

LAHMAR, M.; BENJAAFAR, S. **Design of distributes layouts.** IIE Transactions, 2005.

LASTRES, Helena Maria Martins; CASSIOLATO, José Eduardo. **Sistemas de inovação: políticas e perspectivas.** 2000.

LAURO, Aline Bertolini; SOUZA, Richard Perassi Luís de; FIGUEIREDO, Luiz Fernando Gonçalves. **A tecnologia e o processo de gestão do design.** Convergências: Revista de Investigação e Ensino das Artes, 2013.

LEHMANN, Msc Duane H. **Mecânica dos Fluidos.** 2016.

LEMOS, Andre Paim. **Proposta de um algoritmo genérico de detecção de novidades em séries temporais utilizando modelos de previsão.** 2007.

LILLRANK, Paul. **The transfer of management innovations from Japan.** Organization studies, 1995.

LÖBACH, Bernd. **Design industrial.** São Paulo: Edgard Blücher, 2001.

LOBO, Alfredo Carlos Orphão; FERRAZ, Fernando Toledo; ENDRE, Ricardo B. **Qualidade e produtividade.** 2003.

LOPES, Hélio Bernardo. **Grandezas, unidades e sistemas de unidades.** 2008.

LOVATO, Cesar Kerbauy; VALLIN, Lázaro Ricardo Gomes. **Desenvolvimento de Produto Aplicado a uma Indústria de Móveis.** Trabalhos de Conclusão de Curso do DEP, 2005.

MANZINI, Ezio; RIZZO, Francesca. Small projects/large changes: **Participatory design as an open participated process**. *CoDesign*, 2011.

MARCHETTI, Renato; PRADO, Paulo HM. **Um tour pelas medidas de satisfação do consumidor**. *Revista de administração de empresas*, 2001.

MARRO, Alessandro Assi *et al.* **Lógica fuzzy: conceitos e aplicações**. Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), 2010.

MCCARTHY, John. **Measures of the value of information**. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 1956.

MONDEN, Yasuhiro, IMAM, **Produção sem Estoques uma Abordagem Prática ao Sistema de Produção da Toyota**, 1984.

MONTES, E.; **Métricas da Qualidade**. Disponível em: <<https://escritoriodeprojetos.com.br/gerenciamento-da-qualidade/saidas-de-qualidade>>. Acesso em: 15 de novembro de 2021, 21h42min.

MORELLI, Nicola. **Designing product/service systems: A methodological exploration**. *Design issues*, 2002.

MORGAN, James M.; LIKER, Jeffrey K. **Sistema Toyota de desenvolvimento de produto: integrando pessoas, processo e tecnologia**. Bookman Editora, 2008.

NASCIMENTO, Liliane Paulino Ferreira do. **Estudo de uma bomba de água do tipo palheta: modelagem em CAD e inclusão de ajustes e tolerâncias**. 2016.

OKHUYSEN, Gerardo A.; BECHKY, Beth A. **10 coordination in organizations: An integrative perspective**. *Academy of Management annals*, 2009.

OLIVEIRA, Amaro Aparecido de. **Sistema eletrônico para validação da aferição e calibração dos tonômetros tipo Goldmann**. 2016.

OLIVEIRA, Benjamim Nunes de *et al.* **O uso da simulação Massa-Mola do PhET como auxílio para a aprendizagem da força elástica (Lei de Hooke)**. 2016.

OLIVEIRA, M. C. S.; SILVA, Thales Lima; ALOISE, Dario José. **Otimização por nuvem de partículas: diferença entre aplicações a problemas contínuos e discretos.** In: Proc. of the Brazilian Sym. on Operations Research. 2004.

PACHECO, Jéssika *et al.* **Considerações sobre o Módulo de Elasticidade do concreto.** In: Congresso Brasileiro do Concreto. 2014.

PASCON, João Paulo. **Sobre modelos constitutivos não lineares para materiais com gradação funcional exibindo grandes deformações: implementação numérica em formulação não linear geométrica.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2012.

PAULO, Danilo Pazian. **Desenvolvimento de um dinamômetro biomédico ergonômico com comunicação com dispositivos móveis.** 2017.

PEINADO, J.; GRAEML, A. R. **Administração da Produção: operações industriais e de serviços.** Curitiba: UnicenP, 2007.

PEREIRA, Mauricio Fernandes *et al.* **Fatores de inovação para a sobrevivência das micro e pequenas empresas no Brasil.** RAI-Revista de Administração e Inovação, 2009.

PEREIRA, Paulo Ricardo de Oliveira Barbosa. **Modelação da força de atrito de um servomecanismo pneumático utilizando o modelo de LuGre.** 2013.

PIMENTA, Diogo Jorge Lourenço *et al.* **A gestão do risco em gestão de projetos: caso de estudo.** Tese de Doutorado. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. 2017.

PMBOK, **Um Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos (Guia PMBOK).** Project Management Institute, Sexta edição, Project Management Institute, Editora Newtown Square, 2017.

PORR, Priscila; SINATORA, Amilton. **Estudo Sobre s Influência da Carga de Deformação E do Coeficiente de Atrito nas Propriedades do Aço 1020.** Trabalho de graduação-USP. São Paulo, 2009.

Produção. MRPII/ERP, **Conceitos, uso e implantação, base para SAP, Oracle Applications e outros Softwares Integrados de Gestão.** 5ª edição – São Paulo: Atlas, 2008.

QUINQUIOLO, J.M. **Avaliação da eficácia de um sistema de gerenciamento para melhorias implantado na área de carroceria de uma linha de produção automotiva.** 107f. Dissertação (Mestrado em Administração de Empresas) – Universidade de Taubaté –UNITAU, Taubaté, 2002.

RACHID, Munir *et al.* **Instabilidade: flambagem de barras de secção delgada por torção e flexão.** 1993.

RAUBER, Thomas Walter. **Redes neurais artificiais.** Universidade Federal do Espírito Santo, 2005.

RENNELS, Margaret B. *et al.* **Cholelithiasis in patients with major sickle hemoglobinopathies.** American Journal of Diseases of Children, 1984.

RITZMAN, L. P.; KRAJEWSKI, L. J. **Production management and operations.** 2004.

RODRIGUES, Jardel; MARINHO, Leandro; ALCÂNTARA, Otávio. **Simulação de Sistema Robótico Móvel e Nebuloso com Softwares Livres.** 2011.

ROOS, Göran. **Design-based innovation for manufacturing firm success in high-cost operating environments.** *She Ji: The Journal of Design, Economics, and Innovation*, 2016.

RUSSELL, Stuart.; NORVIG, Peter. **Inteligência artificial.** Tradução Regina Célia Simille.3º edição. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

SALES, Iris Rafaelle Bispo. **Empowerment sob a percepção dos novos ingressantes nos ambientes de produção e serviços da região metropolitana do Recife: um estudo multicasos.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, 2008.

SALLIS, Edward. **Total quality management in education.** Routledge, 2014.

SAMSON, Danny; TERZIOVSKI, Mile. **The relationship between total quality management practices and operational performance.** Journal of operations management, 1999.

SANDERS, E. B. N. **From user-centered to participatory design approaches.** In: **frascara, Jorge (Ed.). Design and the Social Sciences: Making Connections.** Taylor & Francis, 2002.

SCHNEIDER, Fernanda Heck; SCHULTZ, Jacqueline da Luz; WIERBICKI, Luísa Rocha. **Análise do desempenho da ancoragem do reforço de fibras de carbono em vigas submetidas à flexão.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2016.

SHARMA, Chitra. **Beginning of Diverse Quality Management Methodologies in Libraries: An Outline.** International Journal of Management, IT and Engineering, 2013.

SILVEIRA, Tiago *et al.* **Controle de inércia não monotônico na otimização por enxame de partículas.** Scientia, 2009.

SINGH, A. P.; YILMA, M. **Production floor layout using systematic layout planning in Can ma- nufacturing company.** In: IEEE International Conference on Control, Decision and Information Technologies. CoDIT, Hammamet, Tunisia, 2013.

SIVANANDAM, S. N.; DEEPA, S. N. **Genetic algorithms. In: Introduction to genetic algorithms.** Springer, Berlin, Heidelberg, 2008.

SLACK, N. *et al.* **Administração da Produção.** São Paulo: Atlas, 2009.

SOARES, Anderson Elias. **Otimização da injeção de potência pela geração distribuída através da técnica de algoritmos genéticos.** Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2019.

SOARES, Augusto Codevilla; SOARES, Eduardo Codevilla. **Qualidade ofertada e demandada: as certificações da qualidade ISO e PGQP em uma instituição de ensino de Pelotas/RS.** Navus-Revista de Gestão e Tecnologia, 2014.

SOUZA, Cleverson Moreira de. **Otimização por colônia de formigas para o problema de programação job-shop flexível multiobjetivo.** 2018.

STUZLE, Thomas; FERNANDES, Susana. **New benchmark instances for the QAP and the experimental analysis of algorithms. In: European Conference on Evolutionary Computation in Combinatorial Optimization.** Springer, Berlin, Heidelberg, 2004. p. 199-209.



ULLMAN, D.G., 2010, **The Mechanical Design Process**, Ed. McGraw-hill, New York, United States of American, **Wohlers, Wholers Report 2016: 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry**, Ed. Wholers Associates Inc, United States of American. 2016.

VERÍSSIMO, Paulo Esteves; NEVES, Nuno Ferreira; CORREIA, Miguel Pupo. **Intrusion-tolerant architectures: Concepts and design**. In: **Architecting dependable systems**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2003.

WANG, Chao-Hung; HSU, Li-Chang. **Using genetic algorithms grey theory to forecast high technology industrial output**. *Applied mathematics and computation*, 2008.

WILLIS, M. J. *et al.* **Artificial neural networks in process engineering**. In: **IEE Proceedings D (Control Theory and Applications)**. IET Digital Library, 1991.

ZALUSKI, Felipe Cavalheiro; TRETER, Fernanda Raquel Rusch; SAUSEN, Jorge Oneide. **Análise do Processo de Produção: Um Estudo aa Agroindústria Sete Sabores**. Mostra Interativa da Produção Estudantil em Educação Científica e Tecnológica, 2017.

ZAPPE, Anna Paula Sandri. **Avaliação de diferentes fontes de material fresado com ligantes não-convencionais na reciclagem à quente**. 2020.

# **ANEXOS**

## ANEXO A - RELATÓRIO DE TESTE E APROVAÇÃO NOS ENSAIOS DE VIBRAÇÃO E QUEDA

<b>Produto:</b>	Monitor	
<b>Modelo:</b>		
<b>Fase:</b>	Análise de montagem do botão joystick quando montado sem adesivo	
TESTE DE QUEDA E VIBRAÇÃO		
Vibração	Queda	
Teste Queda & Vibração		
Serial	Resultado Final	Observações
BR067NW4TVB0018J0C0L BR067NW4TVB0018J0D6L BR067NW4TVB0018J0E1L BR067NW4TVB0018J0B8L BR067NW4TVB0018J0DUL	<b>APROVADO</b> 28/08/2021	Os produtos suportaram o impacto dos testes de vibração e drop, sem a ocorrência de danos ao botão Joystick
Posições e Sequência de Quedas		
Cantos	Fases	
1) Canto Crítico	5) Bottom	
2) A borda mais curta das três bordas radiantes do canto crítico.	6) Top	
3) A segunda borda mais curta das três bordas radiantes do canto crítico.	7) Direita	
4) A terceira borda mais curta das três bordas radiantes do canto crítico.	8) Esquerda	
	9) Frente	
	10) Trás	
Altura da Queda		
<b>Produto</b>	MONITOR	<b>Notas:</b>
<b>Peso Bruto</b>	7,95 kg	Testes realizados seguindo a spec: ENG0014147 A00 -
<b>Altura</b>	76,00 cm	Package Test Procedure.
Parâmetros de Vibração		
Parâmetros	Frequência	G2/Hz
Eixos x,y,x = 30 min/eixo	1	0,0001
Aceleração = 1,146 Grms	4	0,01
Frequência = 1~200 Hz	100	0,01
	200	0,001
Condições para aprovação		
Embalagem <sup>1</sup>	Íntegra e impressa corretamente	
Etiquetas Caixa	Íntegras e impressas corretamente	
Acessórios	Íntegros, na quantidade e posicionados corretamente	
Produto - Funcionamento	Ligando corretamente	
Produto - Funcionamento	Todas as conexões funcionando corretamente	
Produto - Funcionamento	Todas as teclas funcionando corretamente	
Produto - Funcionamento	Sem distorções ou ruídos (áudio e vídeo)	
Produto - Funcionamento	Sem travamentos	
Produto - Estética	Sem riscos e quebras	
Produto - Estética	Sem manchas	
Etiquetas do Produto	Íntegras e impressas corretamente	
1 - Após o teste de queda desconsiderar a integridade da caixa e calços		
2 - No teste de empilhamento será verificado somente a integridade da caixa de papelão.		

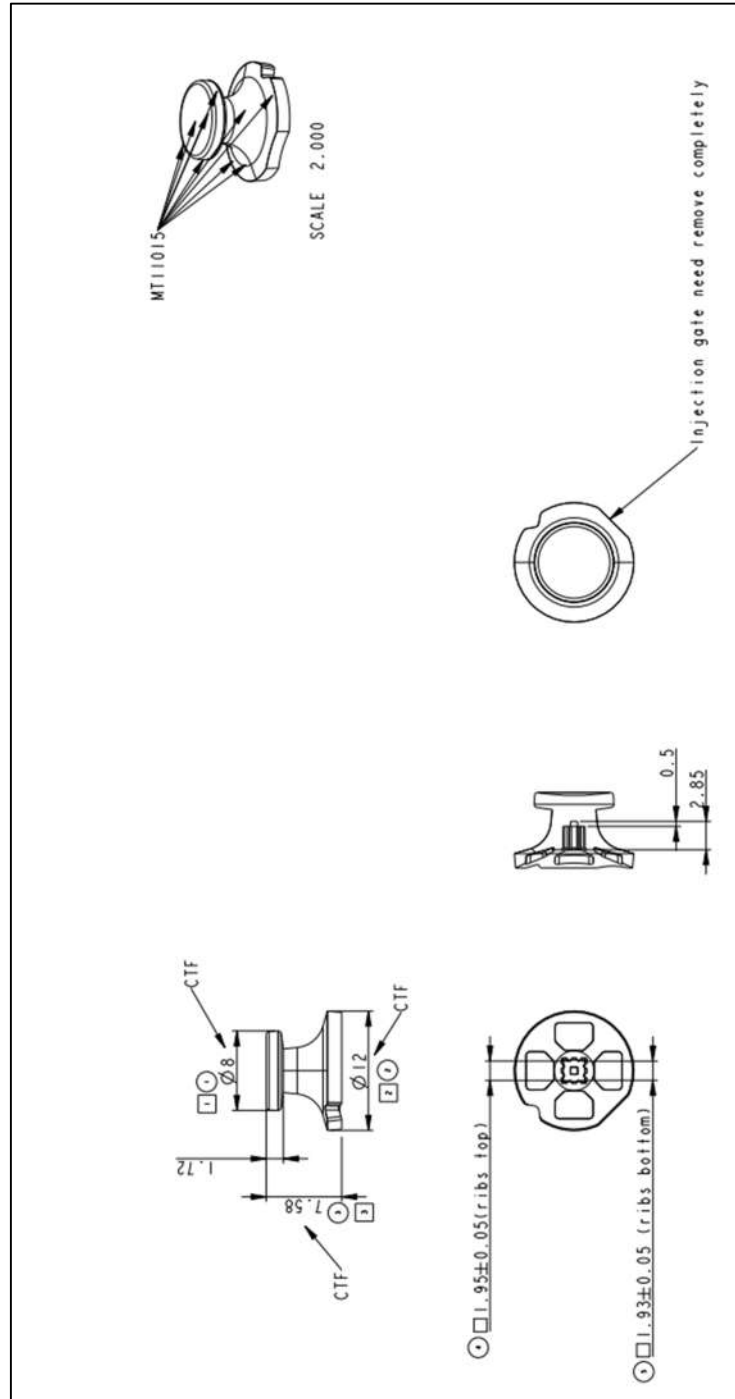
	CONDIÇÃO DOS PRODUTOS ANTES DO TESTE DE QUEDA				CONDIÇÃO DOS PRODUTOS DEPOIS DO TESTE DE QUEDA				
BR067NW4TVB0018J0COL					OBSERVAÇÃO: Produto sem danos no botão Joystick				OBSERVAÇÃO: O produto suportou o impacto dos testes de vibração e drop, sem a ocorrência de danos ao botão Joystick
BR067NW4TVB0018J0D6L					OBSERVAÇÃO: Produto sem danos no botão Joystick				OBSERVAÇÃO: O produto suportou o impacto dos testes de vibração e drop, sem a ocorrência de danos ao botão Joystick
BR067NW4TVB0018J0E1L					OBSERVAÇÃO: Produto sem danos no botão Joystick				OBSERVAÇÃO: O produto suportou o impacto dos testes de vibração e drop, sem a ocorrência de danos ao botão Joystick
BR067NW4TVB0018J0E8L					OBSERVAÇÃO: Produto sem danos no botão Joystick				OBSERVAÇÃO: O produto suportou o impacto dos testes de vibração e drop, sem a ocorrência de danos ao botão Joystick
BR067NW4TVB0018J0DUL					OBSERVAÇÃO: Produto sem danos no botão Joystick				OBSERVAÇÃO: O produto suportou o impacto dos testes de vibração e drop, sem a ocorrência de danos ao botão Joystick

	CONDIÇÃO DOS PRODUTOS ANTES DO TESTE VIBRAÇÃO				CONDIÇÃO DOS PRODUTOS DEPOIS DO TESTE VIBRAÇÃO				
CN0HTXHCWSL0013PATWL					OBSERVAÇÃO: Produto sem danos no botão Joystick				OBSERVAÇÃO: O produto suportou o impacto dos testes de vibração, sem a ocorrência de danos ao botão Joystick
CN0HTXHCWSL0013PATWL					OBSERVAÇÃO: Produto sem danos no botão Joystick				OBSERVAÇÃO: O produto suportou o impacto dos testes de vibração, sem a ocorrência de danos ao botão Joystick
CN0HTXHCWSL0013PATWL					OBSERVAÇÃO: Produto sem danos no botão Joystick				OBSERVAÇÃO: O produto suportou o impacto dos testes de vibração, sem a ocorrência de danos ao botão Joystick
CN0HTXHCWSL0013PATWL					OBSERVAÇÃO: Produto sem danos no botão Joystick				OBSERVAÇÃO: O produto suportou o impacto dos testes de vibração, sem a ocorrência de danos ao botão Joystick
CN08JMD0WSL0016MDLLL					OBSERVAÇÃO: Produto sem danos no botão Joystick				OBSERVAÇÃO: O produto suportou o impacto dos testes de vibração, sem a ocorrência de danos ao botão Joystick

## ANEXO B - ESPECIFICAÇÕES DO BOTÃO *JOYSTICK*

NOTES:	
Item	Description
1.	① This symbol indicated critical dimension and FAI. (method : 3 pcs per trial shooting)
2.	□ This symbol indicated IQC dimension.(method : sampling)
3.	Arrow indicated dimension need CTF control. (P3: RD and MVT : SQE. method : 32 pcs and Cpk over 1)
4.	△ This symbol indicated revision.
5.	IQC need to check if the change core code is correct.
6.	Tolerencd refer to the class grade B,unless other specified.
7.	Mold release angle to be 0.5 degrees,unless other specified.
8.	Fillet at base of boss & ribs to be R0.1 mm.
9.	Gate trim not exceed 0.25mm.
10.	Parting line mismatch not to exceed 0.05mm.
11.	Exterior surface to be free of sink mark,gate mark, ejector mark and other cosmetic defects including.
12.	Raw material: ABS Recycle, Apollo (GY190016)
13.	Product weight, Runner weight, Cycle time, Molding machine & Air molding Refer trial shoot data in SA
14.	Color: Raw material: DBB7A, Apollo (Dell: COL000880/ WAM: GY190016)
15.	Texture: refer to drawing
16.	Customer special request: No
17.	Material brand name indicated for vendor reference only.

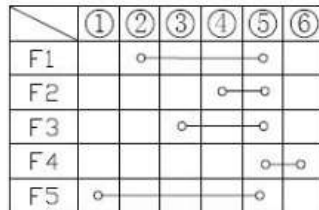
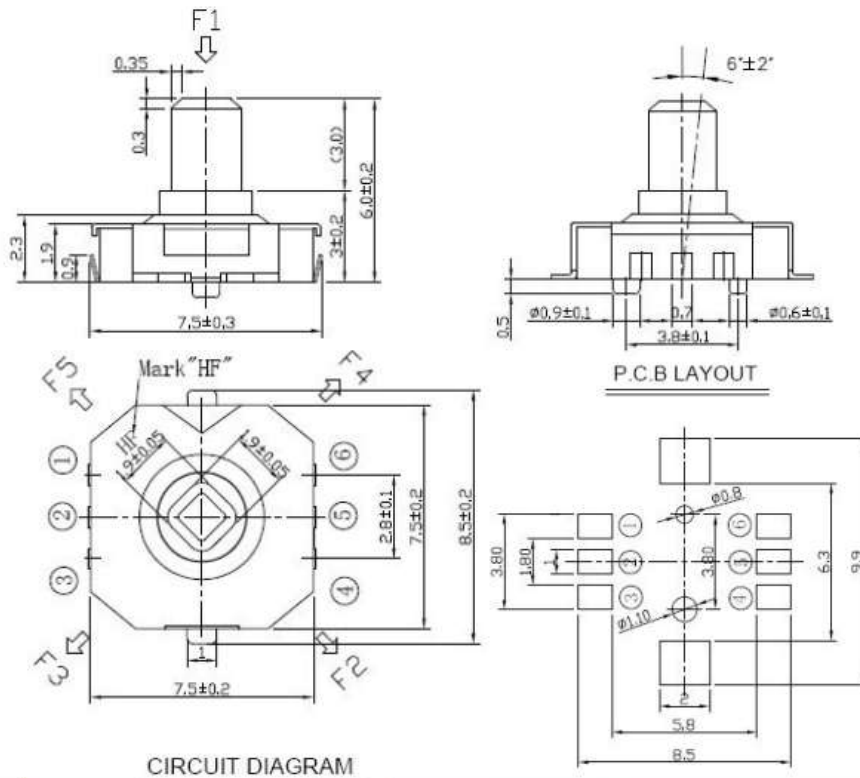
18. ME parts test SPEC follow TY.00190.001		
Appearance Spec		
	RESIN	PAINTING
Color	$\Delta E_{cmc} \leq 1.0$	$\Delta E_{cmc} \leq 1.0$
Texture Definition	Depth(Rz) MT11000: 10 ± 2 um MT11010: 25 ± 3 um MT11015: 33 ± 3 um MT11020: 40 ± 3 um MT11030: 50 ± 3 um	
Gloss Definition	Texture finish: Virgin ABS MT11010: 10 ± 2 GU MT11015: 6 ± 2 GU MT11020: 6 ± 2 GU MT11030: 4 ± 2 GU HIPS / PCR ABS MT11010: 4 ± 2 GU MT11015: 4 ± 2 GU MT11020: 3 ± 2 GU MT11030: 3 ± 2 GU Polish finish: Gloss (H) depend on customer, tolerance as below H < 10 GU, tolerance = ± 2 10 < H < 70 GU, tolerance = ± 5 H > 70 GU, tolerance = ± 8	



MODEL	P2422H		NAME #BTN JOYSTICK ABS_P2422H				TOLERANCE UNLESS OTHERWISE SPECIFIED ( $\pm$ )							
							CLASS	A	B	C	D	E	F	G
DRN	Steven Wu	2020/12/15	MATERIAL	ABS			< 8mm	0.05	0.1	0.1	0.2	0.2	0.4	0.4
DSN	Steven Wu	2020/12/15	FINISH				8 ~ 25mm	0.08	0.15	0.15	0.3	0.3	0.6	0.6
CKD	Dick S Lin	2020/12/15	SCALE	1.000	DIM IN	mm	25 ~ 80mm	0.12	0.2	0.25	0.4	0.5	0.8	1.0
APPD	Gary Hsieh	2020/12/15	SHEET	OF	CAVITIES		80 ~ 250mm	0.25	0.3	0.4	0.6	0.8	1.2	1.5
							250 ~ 800mm	0.5	0.6	0.8	1.0	1.5	2.0	3.0
							> 800mm	1.0	1.0	1.5	1.7	3.0	4.0	6.0
							ANGLE	0.5						
Corporation							FILE NAME	#BTN JOYSTICK ABS_P2422H						
							PART NO.	4B.58801.B01						

## ANEXO C - ESPECIFICAÇÕES DA CHAVE DE ACIONAMENTO

### TACTING SWITCH SPECIFICATION

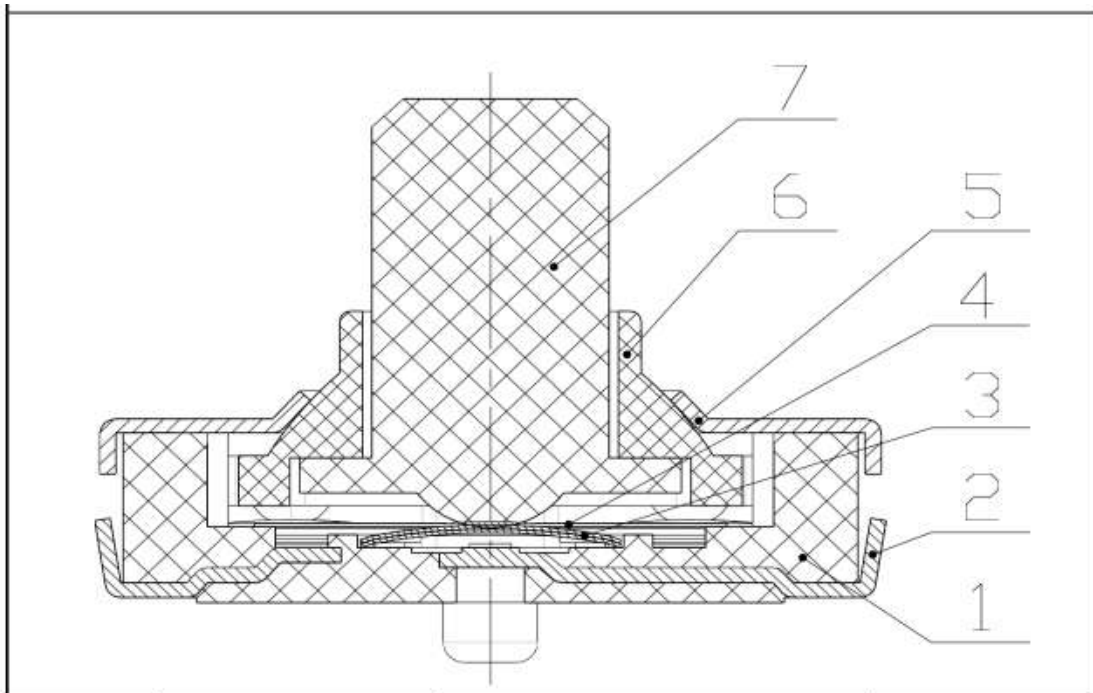


L	TOLERANCE
L≤5	±0.2
5<L≤10	±0.3
10<L	±0.4

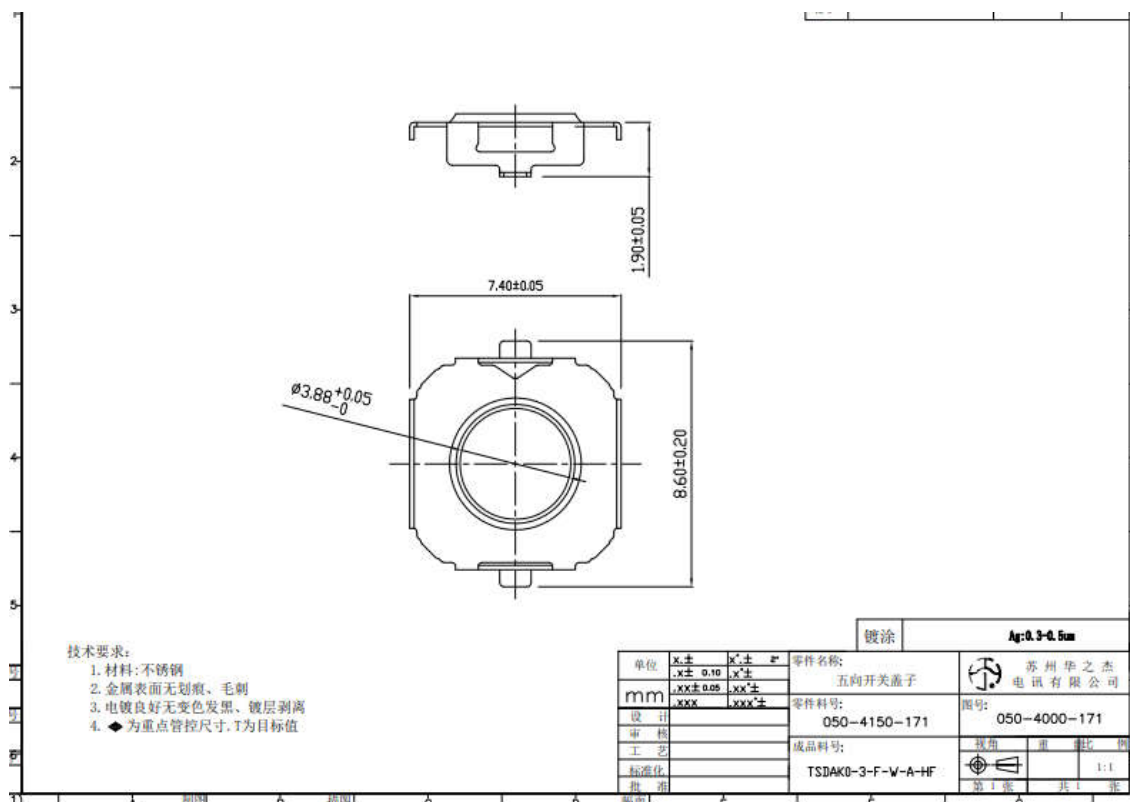
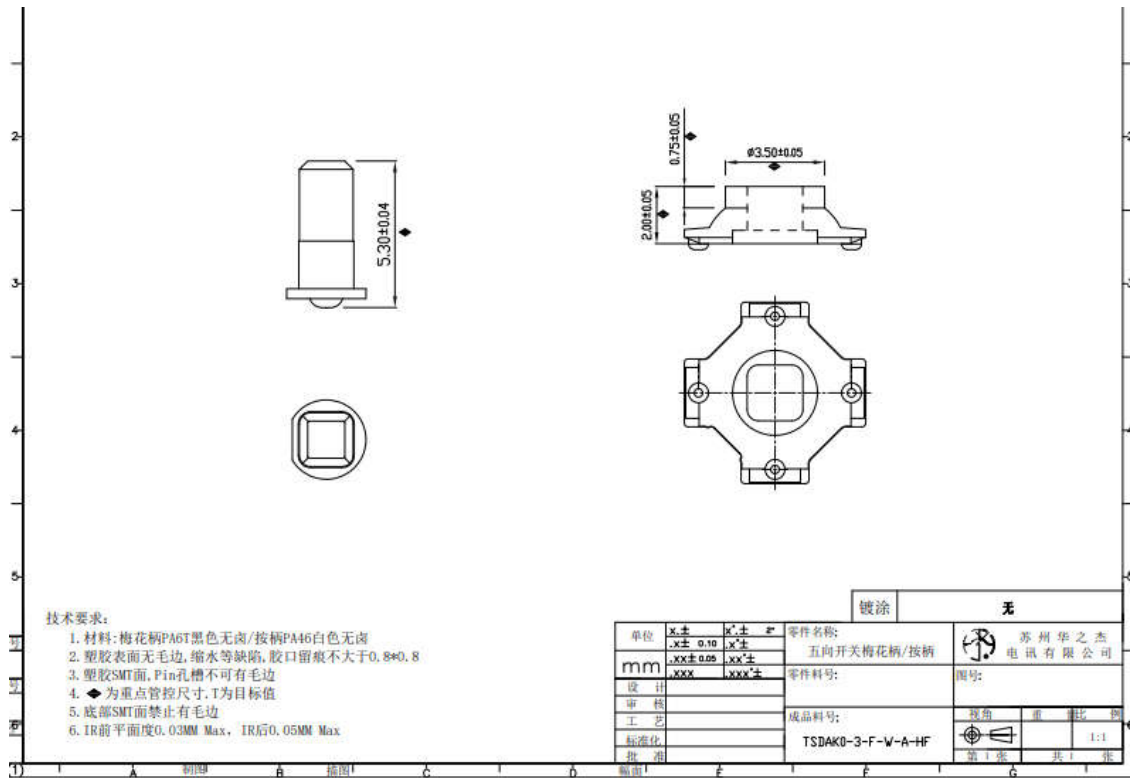


MODEL			HEIGHT			STEM COLOR		ACTUATING FORCE(gf)		RETURN FORCE(gf)	
TSDAK0-3-F-W-A-HF			6.0			White		Center push: 380±50 4 direction: 240±50		50 (Min)	
						APPD	CHKD	DSGD	PART NO: TSDAK0-3-F-W-A-HF		
						James.Xu 18.10.10	Wangh 18.10.10	Jacky 18.10.10	DOCUMENT NO:		1/8





ITEM	COMPONENTS	MATERIAL	ARTICLE	REMARK			
1	HOUSING	LCP(HF)		Black			
2	TERMINAL	Phosphor bronze strip silver clothed					
3	CONTACT	Stainless steel strip silver					
4	FILM COVER	TEFLON					
5	FRAME	Stainless steel strip silver					
6	PLUM BLOSSOM BUTTON	Nylon(HF)		Black			
7	STEM	PA46-TS200F6(HF)		White			
		APPD	CHKD	DSGD	PART NO: TSDAK0-3-F-W-A-HF		
		James Xu 18.10.10	Wangh 18.10.10	Jacky 18.10.10			
ZONE	SYMB	DATE	APPD	CHKD	DSGD	DOCUMENT NO	2/8



# APÊNDICE

**APÊNDICE A - MEDIDAS DA HASTE DA CHAVE, CAVIDADES E FORÇA  
DE REMOÇÃO**

Peça	Haste da chave de acionamento (h)	Cavidade <i>Joystick</i> (C)	Folga (Gap) = C - h (antes da correção)	Diagonal da haste D <sup>2</sup> = (h) <sup>2</sup> + (h) <sup>2</sup>	Aperto Δ = D- h	Expansão da haste em 45o (correção)	Força de remoção (KgF) antes	Força de remoção (KgF) depois
1	1,93	2	0,07	2,73	0,8	0,33	0	1,01
2	1,91	2,04	0,13	2,7	0,79	0,27	0	0,87
3	1,9	2,04	0,14	2,69	0,79	0,25	0	1,97
4	1,91	2,09	0,18	2,7	0,79	0,22	0	1,92
5	1,9	2,06	0,16	2,69	0,79	0,23	0	0,88
6	1,91	2,09	0,18	2,7	0,79	0,22	0	0,65
7	1,9	2,07	0,17	2,69	0,79	0,22	0	1,45
8	1,93	2,11	0,18	2,73	0,8	0,22	0	1,81
9	1,92	2,11	0,19	2,72	0,8	0,21	0	1,39
10	1,92	2,1	0,18	2,72	0,8	0,22	0	1,4
11	1,91	2,09	0,18	2,7	0,79	0,22	0	1,14
12	1,9	2,1	0,2	2,69	0,79	0,19	0	0,63
13	1,93	2,01	0,08	2,73	0,8	0,32	0	0,56
14	1,93	1,98	0,05	2,73	0,8	0,35	0	1,23
15	1,95	2,03	0,08	2,76	0,81	0,32	0	1,39
16	1,92	2,05	0,13	2,72	0,8	0,27	0	1,75
17	1,93	2,1	0,17	2,73	0,8	0,23	0	1,55
18	1,93	2,01	0,08	2,73	0,8	0,32	0	0,96
19	1,94	2,03	0,09	2,74	0,8	0,31	0	0,53
20	1,94	2,05	0,11	2,74	0,8	0,29	0	1,2
21	1,94	2,06	0,12	2,74	0,8	0,28	0	0,88
22	1,94	2,03	0,09	2,74	0,8	0,31	0	1,51
23	1,95	2,03	0,08	2,76	0,81	0,32	0	1,77
24	1,95	2,03	0,08	2,76	0,81	0,32	0	1,58
25	1,9	2,19	0,29	2,69	0,79	0,1	0	0,78
26	1,95	1,97	0,02	2,76	0,81	0,38	0	1,11
27	1,91	2	0,09	2,7	0,79	0,31	0	0,67
28	1,91	1,98	0,07	2,7	0,79	0,33	0	0,51
29	1,94	2,02	0,08	2,74	0,8	0,32	0	1,04
30	1,94	1,97	0,03	2,74	0,8	0,37	0	1,67
31	1,91	2,03	0,12	2,7	0,79	0,28	0	2,03
32	1,9	2,01	0,11	2,69	0,79	0,28	0	1,08
33	1,89	2,02	0,13	2,67	0,78	0,26	0	0,74
34	1,9	2,06	0,16	2,69	0,79	0,23	0	0,79
35	1,89	2,02	0,13	2,67	0,78	0,26	0	0,77
36	1,89	2,01	0,12	2,67	0,78	0,27	0	0,89

37	1,91	1,98	0,07	2,7	0,79	0,33	0	1,79
38	1,91	2,05	0,14	2,7	0,79	0,26	0	1,08
39	1,91	2,01	0,1	2,7	0,79	0,3	0	0,63
40	1,89	1,97	0,08	2,67	0,78	0,31	0	0,86
41	1,91	2,03	0,12	2,7	0,79	0,28	0	1
42	1,88	2,03	0,15	2,66	0,78	0,24	0	0,89
43	1,9	1,98	0,08	2,69	0,79	0,31	0	0,87
44	1,89	1,97	0,08	2,67	0,78	0,31	0	0,8
45	1,9	1,97	0,07	2,69	0,79	0,32	0	1,46
46	1,9	1,97	0,07	2,69	0,79	0,32	0	1,43
47	1,91	1,93	0,02	2,7	0,79	0,38	0	1,85
48	1,89	1,92	0,03	2,67	0,78	0,36	0	0,74
49	1,9	1,96	0,06	2,69	0,79	0,33	0	0,7
50	1,91	1,97	0,06	2,7	0,79	0,34	0	0,66
51	1,9	2	0,1	2,69	0,79	0,29	0	0,73
52	1,91	1,97	0,06	2,7	0,79	0,34	0	0,7
53	1,91	1,94	0,03	2,7	0,79	0,37	0	1,56
54	1,9	1,93	0,03	2,69	0,79	0,36	0	1,64
55	1,91	1,97	0,06	2,7	0,79	0,34	0	1,39
56	1,9	1,96	0,06	2,69	0,79	0,33	0	0,7
57	1,93	1,96	0,03	2,73	0,8	0,37	0	0,98
58	1,88	1,96	0,08	2,66	0,78	0,31	0	0,74
59	1,92	1,96	0,04	2,72	0,8	0,36	0	0,73
60	1,89	1,97	0,08	2,67	0,78	0,31	0	0,62
61	1,91	1,91	0	2,7	0,79	0,4	0	1,66
62	1,92	1,97	0,05	2,72	0,8	0,35	0	2,11
63	1,91	1,94	0,03	2,7	0,79	0,37	0	1,39
64	1,92	2	0,08	2,72	0,8	0,32	0	0,52
65	1,87	2	0,13	2,64	0,77	0,26	0	0,7
66	1,89	1,92	0,03	2,67	0,78	0,36	0	1,6
67	1,88	2	0,12	2,66	0,78	0,27	0	0,76
68	1,89	1,89	0	2,67	0,78	0,39	0	0,64
69	1,9	1,95	0,05	2,69	0,79	0,34	0	1,16
70	1,9	1,89	-0,01	2,69	0,79	0,4	0	1,31
71	1,92	1,97	0,05	2,72	0,8	0,35	0	1,29
72	1,89	1,89	0	2,67	0,78	0,39	0	0,77
73	1,9	1,96	0,06	2,69	0,79	0,33	0	0,77
74	1,9	1,98	0,08	2,69	0,79	0,31	0	0,95
75	1,9	1,98	0,08	2,69	0,79	0,31	0	0,83
76	1,89	1,96	0,07	2,67	0,78	0,32	0	0,51
77	1,9	1,93	0,03	2,69	0,79	0,36	0	1,64
78	1,92	1,98	0,06	2,72	0,8	0,34	0	1,73
79	1,91	1,98	0,07	2,7	0,79	0,33	0	1,19

<b>80</b>	1,87	1,97	0,1	2,64	0,77	0,29	0	0,57
<b>81</b>	1,89	1,92	0,03	2,67	0,78	0,36	0	0,99
<b>82</b>	1,89	1,92	0,03	2,67	0,78	0,36	0	0,8
<b>83</b>	1,89	1,97	0,08	2,67	0,78	0,31	0	1,05
<b>84</b>	1,91	1,96	0,05	2,7	0,79	0,35	0	0,63
<b>85</b>	1,91	1,96	0,05	2,7	0,79	0,35	0	1,5
<b>86</b>	1,91	1,93	0,02	2,7	0,79	0,38	0	1,28
<b>87</b>	1,9	1,93	0,03	2,69	0,79	0,36	0	1
<b>88</b>	1,89	1,97	0,08	2,67	0,78	0,31	0	0,98
<b>89</b>	1,89	1,97	0,08	2,67	0,78	0,31	0	0,76
<b>90</b>	1,89	2,05	0,16	2,67	0,78	0,23	0	0,54
<b>91</b>	1,89	2	0,11	2,67	0,78	0,28	0	0,75
<b>92</b>	1,91	1,94	0,03	2,7	0,79	0,37	0	0,64
<b>93</b>	1,9	2	0,1	2,69	0,79	0,29	0	0,8
<b>94</b>	1,91	1,96	0,05	2,7	0,79	0,35	0	1,39
<b>95</b>	1,91	1,98	0,07	2,7	0,79	0,33	0	1,23
<b>96</b>	1,88	1,96	0,08	2,66	0,78	0,31	0	0,61
<b>97</b>	1,89	1,97	0,08	2,67	0,78	0,31	0	0,72
<b>98</b>	1,88	1,96	0,08	2,66	0,78	0,31	0	0,75
<b>99</b>	1,89	1,97	0,08	2,67	0,78	0,31	0	1,16
<b>100</b>	1,88	1,97	0,09	2,66	0,78	0,3	0	0,96
<b>Média</b>	<b>1,91</b>	<b>1,99</b>	<b>-0,09</b>	<b>2,7</b>	<b>0,79</b>	<b>0,31</b>	<b>0</b>	<b>1,07</b>

**APÊNDICE B - REGRAS DE INFERÊNCIA COM BASE NAS VARIÁVEIS  
DE ENTRADA E SAÍDA (QUANTIDADE: 125 REGRAS)**

Legenda:

- MB: Muito Baixo;
- B: Baixo;
- M: Médio;
- A: Alto;
- MA: Muito Alto.

COMBINAÇÃO	HASTE	JOYSTICK	FORÇA	CONSISTÊNCIA/CONFIABILIDADE
1	MB	MB	MB	MB
2	MB	B	MB	MB
3	MB	M	MB	MB
4	MB	A	MB	MB
5	MB	MA	MB	MB
6	B	MB	MB	MB
7	B	B	MB	MB
8	B	M	MB	MB
9	B	A	MB	MB
10	B	MA	MB	MB
11	M	MB	MB	B
12	M	B	MB	B
13	M	M	MB	MB
14	M	A	MB	MB
15	M	MA	MB	MB
16	A	MB	MB	B
17	A	B	MB	B
18	A	M	MB	B
19	A	A	MB	MB
20	A	MA	MB	B
21	MA	MB	MB	M
22	MA	B	MB	M
23	MA	M	MB	M
24	MA	A	MB	B
25	MA	MA	MB	B
26	MB	MB	B	B
27	MB	B	B	B
28	MB	M	B	MB
29	MB	A	B	MB
30	MB	MA	B	MB
31	B	MB	B	B

32	B	B	B	B
33	B	M	B	MB
34	B	A	B	MB
35	B	MA	B	MB
36	M	MB	B	M
37	M	B	B	M
38	M	M	B	B
39	M	A	B	B
40	M	MA	B	MB
41	A	MB	B	MB
42	A	B	B	M
43	A	M	B	M
44	A	A	B	B
45	A	MA	B	B
46	MA	MB	B	M
47	MA	B	B	M
48	MA	M	B	M
49	MA	A	B	M
50	MA	MA	B	B
51	MB	MB	M	B
52	MB	B	M	M
53	MB	M	M	B
54	MB	A	M	B
55	MB	MA	M	B
56	B	MB	M	B
57	B	B	M	B
58	B	M	M	B
59	B	A	M	B
60	B	MA	M	B
61	M	MB	M	M
62	M	B	M	M
63	M	M	M	B
64	M	A	M	B
65	M	MA	M	MB
66	A	MB	M	M
67	A	B	M	M
68	A	M	M	M
69	A	A	M	B
70	A	MA	M	M
71	MA	MB	M	M
72	MA	B	M	M
73	MA	M	M	M
74	MA	A	M	M



75	MA	MA	M	B
76	MB	MB	A	B
77	MB	B	A	B
78	MB	M	A	B
79	MB	A	A	B
80	MB	MA	A	B
81	B	MB	A	M
82	B	B	A	B
83	B	M	A	B
84	B	A	A	B
85	B	MA	A	MB
86	M	MB	A	M
87	M	B	A	M
88	M	M	A	M
89	M	A	A	B
90	M	MA	A	B
91	A	MB	A	A
92	A	B	A	A
93	A	M	A	A
94	A	A	A	M
95	A	MA	A	M
96	MA	MB	A	A
97	MA	B	A	A
98	MA	M	A	A
99	MA	A	A	M
100	MA	MA	A	M
101	MB	MB	MA	M
102	MB	B	MA	M
103	MB	M	MA	M
104	MB	A	MA	M
105	MB	MA	MA	M
106	B	MB	MA	A
107	B	B	MA	M
108	B	M	MA	M
109	B	A	MA	M
110	B	MA	MA	M
111	M	MB	MA	MA
112	M	B	MA	MA
113	M	M	MA	M
114	M	A	MA	M
115	M	MA	MA	M
116	A	MB	MA	MA
117	A	B	MA	MA

<b>118</b>	A	M	MA	A
<b>119</b>	A	A	MA	M
<b>120</b>	A	MA	MA	M
<b>121</b>	MA	MB	MA	MA
<b>122</b>	MA	B	MA	MA
<b>123</b>	MA	M	MA	MA
<b>124</b>	MA	A	MA	A
<b>125</b>	MA	MA	MA	A

## APÊNDICE C - ARTIGO PUBLICADO

Artigo publicado na revista International Journal of Development Research (IJDR) – ISSN: 2230-9926, com Qualis Capes A2.

“Implementation of design improvement in a LCD monitor product through the application of Fuzzy logic and quality” DOI: <https://doi.org/10.37118/ijdr.23967.02.2022>.

Ronildo Souza da Silva, Jandecy Cabral Leite e Ítalo Rodrigo Soares Silva.

Publicado em: 02/02/2022.